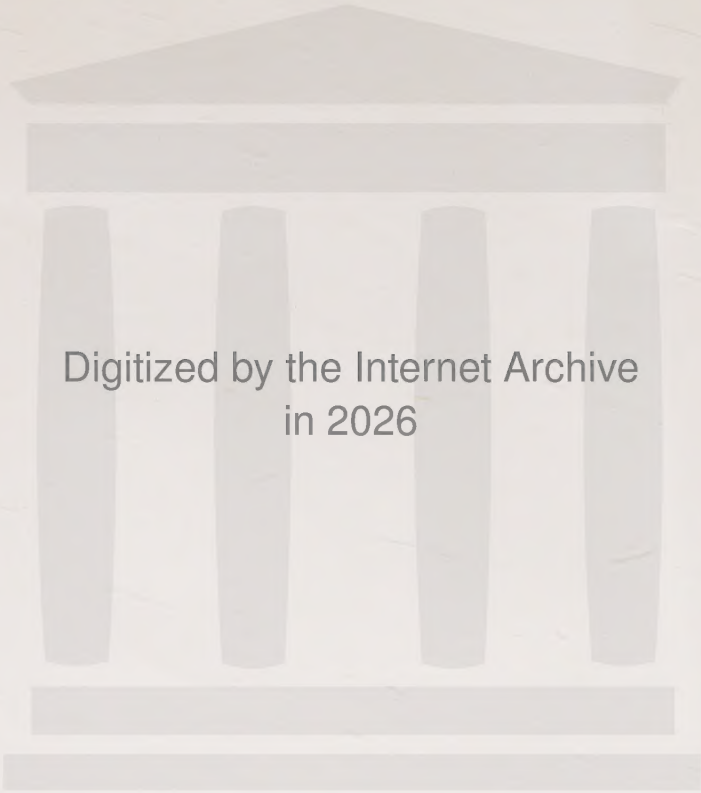
EXPERIMENTELL-PHONETISCHE UNTERSUCHUNGEN DER GAUMENSEGELFUNKTION BEI VERSCHLUSSLAUTEN

Peter Schloemilch

1967


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546005_0003

AUS DER HALS-, NASEN-, OHRENKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Direktor: Professor Dr. A. HERRMANN

EXPERIMENTELL-PHONETISCHE UNTERSUCHUNGEN DER GAUMENSEGELFUNKTION BEI VERSCHLUSSLAUTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Peter Schloemilch

aus München

München 1967

LEIDIG-DRUCK, 8000 München-25, Schöttlstr. 9, Tel. 73 26 14

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Priv. Doz. Dr. E. LOEBELL
Mitberichterstatter:	Professor Dr. A. HERRMANN
Dekan:	Professor Dr. F. HOLLE

Tag der mündlichen Prüfung: 19. 12. 1967

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Meiner lieben Mutter
gewidmet

INHALTSÜBERSICHT

A) Einführung

B) Der velopharyngeale Verschluß und seine phonetische Bedeutung
- I. Die Anatomie des Gaumensegels
- II. Physiologie und Mechanik des Gaumensegels
  - a) Der velopharyngeale Verschluß
  - b) Verschlußkraft und Abschlußdichte
  - c) Bewegungen des Segels: bei Phonation
    beim Schlucken
    beim Blasen und Saugen
    beim Bauchreden
  - d) Phylogenetische Betrachtung des Nasenrachenverschlusses
- III. Pathologische Erscheinungen des Gaumensegels
  - a) Gaumenspalten und sprachtherapeutische Maßnahmen
  - b) das Näseln
  - c) Die angeborene Insuffizienz
  - d) Inaktivitätsatrophie
  - e) Die partielle Gaumensegellähmung
  - f) Insuffizienzgeräusche

C) Untersuchungsmöglichkeiten der Gaumensegelfunktion

D) Eigene Untersuchungen der velopharyngealen Okklusion bei Verschlußlauten
- I. Voraussetzungen, Fehlerquellen, Versuchspersonen
- II. Versuchsanordnung. Glottographie und Elektroencephalograph
- III. Das Doppelaerometer nach S. Smith
- IV. Die eigene Maske
- V. Versuchsprogramm
- VI. Ergebnisse

E) Diskussion
- I. Kritik an der Versuchsanordnung
- II. Besprechung der Ergebnisse

F) Zusammenfassung

G) Literaturverzeichnis

A) EINFÜHRUNG

Die experimentell-phonetische Untersuchung des velo-pharyngealen Verschlusses bei Explosivlauten ist verbunden mit der Lösung verschiedener Probleme. Diese fallen in zwei getrennte Aufgabengebiete: der Klärung der Verschlußart mit allen an diesem Mechanismus beteiligten Muskelgruppen und der phonetischen Untersuchung der Verschlußtendenz des Nasenrachens bei der Artikulation von Explosivlauten.

Die Lösung der ersten Aufgabe, der funktionellen Analyse der an dem Abschluß beteiligten Muskelsysteme, ist durch die moderne Wissenschaft mit Hilfe der Elektromyographie und der Röntgentechnik ermöglicht worden. Auf Anregung des Herrn Priv. Doz. Dr. E. LOEBELL habe ich mir zur Aufgabe gemacht, die zweite Fragestellung, die Abschlußtendenz des weichen Gaumens während der Phonation von Verschlußlauten experimentell zu untersuchen.
Mit einer eigenen, nach dem Vorbild des Doppelaerometers von S. SMITH konstruierten Maske, wird die Regelmäßigkeit und die Vollständigkeit des velo-pharyngealen Verschlusses durch die Registrierung der nasalen Luftdruckanteile bei Explosivlauten untersucht.

B) DER VELOPHARYNGEALE VERSCHLUSS UND SEINE PHONETISCHE BEDEUTUNG

I. ANATOMIE DES GAUMENSEGELS

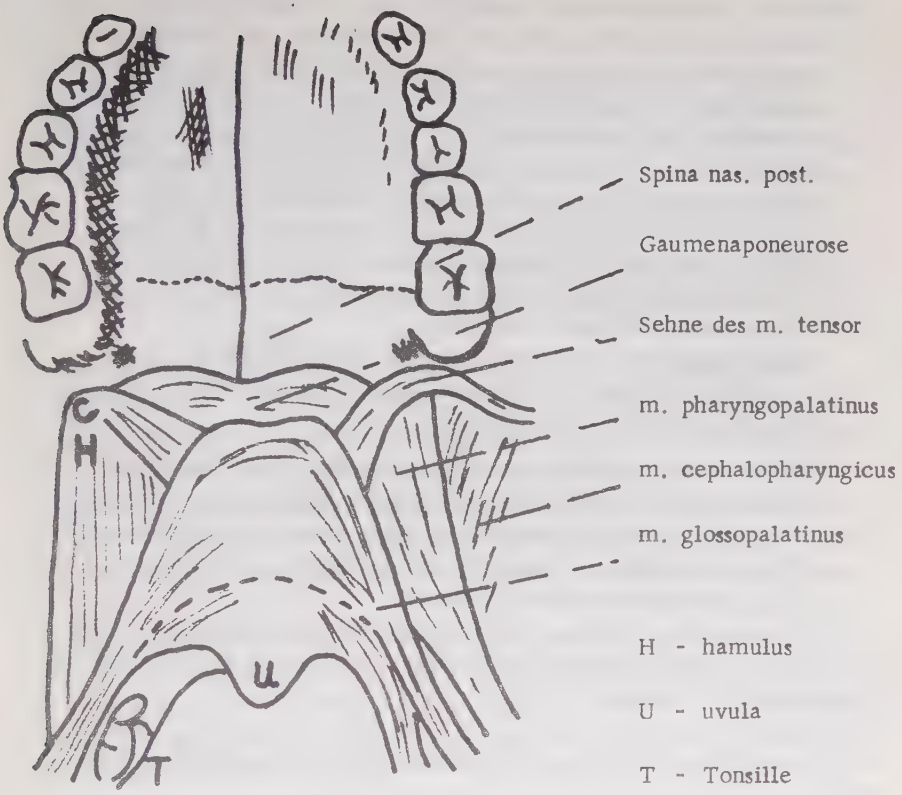
Anatomisch gliedert sich der Gaumen in den starren harten und den beweglich weichen Gaumen.
Der harte Gaumen nimmt 2/3 der Gesamtlänge des Gaumens ein und setzt sich aus paarig angelegten Gaumenbeinen zusammen; den Gaumenfortsätzen der Oberkieferknochen (Maxilles) und des os palatinum.
An den hinteren Rand der Gaumenbeine schließt sich der weiche Gaumen als muskulöses Organ an. Die Aponeurosis palatina, eine Sehnenhaut, stellt diesen Anschluß her und setzt sich beim Erwachsenen bis zur Hälfte des weichen Gaumens fort. Die Aponeurose teilt sich in das schmale, am Knochen haftende Vorderteil und den rückwärtigen Hauptteil, die Membran, in der die Sehne des m. tensor veli palatini endet. Damit beginnt die eigentliche bewegliche Substanz des weichen Gaumens.
Diese ist in drei Muskelgruppen geordnet.

1. Zur oberen Gruppe, den Levatoren oder Gaumenhebern gehören:
   a) Der m. levator veli palatini, der von der Spitze des Felsenbeines, vom inneren Rand des canalis caroticus und von der inneren Wand der Tuba Eustacchii ausläuft. Er ist zum geringeren Teil an der Gaumenaponeurose befestigt. Hauptsächlich ist er an der Unterseite des weichen Gaumens mit den Muskeln palatopharyngeus, tensor veli palatini und azygos uvulae fingerförmig verflochten. Er bewirkt hauptsächlich die Hebung und Rückziehung des mittleren Gaumenteiles (Abb. geändert nach BURIAN).

   b) Der m. tensor veli palatini zieht von der fossa scaphoides ossis sphenoidis, vom inneren Rand des for. ovale, von der spina ossis sphenoidis und von der lateralen Seite des membranösen und knorpeligen Teiles der Tube im wesentlichen zur Gaumenaponeurose. Er steigt zwischen dem m. pterygoideus medialis und dem levator zum hamulus ab. Um ihn biegt er fast rechtwinklig nach medial ab. Einige Muskelbündel setzen am hamulus und der unteren Leiste der palatinalen Lamellen des Gaumenbeines an.

      Der m. tensor hebt das Gaumensegel bis zur Höhe des Hammerfortsatzes. Von hier aus wirkt er als Antagonist zum m. levator, indem er das Segel herabzieht.

Die Gaumensegelmuskulatur



Ferner spannt er die palatale Aponeurose, bietet dem Gaumenheber in seinem Einstrahlungsgebiet eine Stütze und wirkt beim Öffnen der Ohrtrompete mit.

2. Zur unteren Gruppe zählen:
   a) Der m. glossopalatinus, ein schwacher Muskel von geringer Bedeutung. Er läuft aus den Fasern des m. transversus linguae aus, erstreckt sich über den vorderen Rachenbogen und geht teils in die Fasern des levators über, teils ist er am Rand der Gaumenaponeurose befestigt. Der paarige Muskel baut mit den beiden vorderen Gaumenbögen die Palatoglossus-

schlinge auf.

b) Der m. pharyngopalatinus besteht aus zwei Teilen; der untere mächtigere geht vom hinteren Rand des Gaumenbeines, von der Gaumenaponeurose, sowie von dem starken Muskelgeflecht an der Unterseite des weichen Gaumens unter dem m. uvulae aus. Er ist sowohl mit den Muskelfasern der anderen Seite, als auch mit den Fasern des Levators durchflochten. Er tritt im hinteren Rachenbogen in die Rachenwand ein, um dort mit den Fasern des Konstrictors ein Geflecht zu bilden.
Der schwache obere Teil geht von der Aponeurose und der unteren Hälfte der pterygo-palatinalen Sutur aus, verflicht sich über dem m. uvulae mit dem Muskel der anderen Seite, um von hier aus ebenfalls in die Rachenwand einzudringen.
Dieser Muskel formt mit seinem gegenseitigen Partner die palatopharyngeale Schlinge, welche den Gaumen abwärts zieht und die hinteren Gaumenbögen einander nähert.

3. Die Intermedäre Muskelschicht besteht lediglich aus dem schwachen m. azygus uvulae. Während alle bisherigen Muskeln paarig angeordnet sind, verschmelzen die beiden Hälften des m. uvulae so eng, daß er nur einfach vorhanden ist. Seine Fasern verlaufen vom hinteren Rand der Gaumenaponeurose zur Spitze der Uvula.
Zur Funktion des m. uvulae gehört das Heben und Verkürzen des Zäpfchens, was eine wulstförmige Vorwölbung der hinteren Gaumenseite in der Mittellinie bewirkt.

Den Gaumenhebern stehen die Zusammenzieher oder Konstrictoren gegenüber.
Zu ihnen gehört als wichtigster der obere Konstrictor des Pharynx (oberer Schlundschnürer oder m. kephalopharyngeus). Bei konzentrischer Kontraktion bildet sich ein horizontaler Halbring an der hinteren Rachenwand in Höhe des harten Gaumens aus. Dieser Halbring wurde zum ersten Mal von BIDDER 1938 erwähnt. 1863 ist er von PASSAVANT ausführlich beschrieben und daraufhin nach ihm Passavant'scher Wulst benannt worden. Infolge der Sphinterreaktion bildet er die pharyngeale Schlinge aus. Damit der Abschluß des Gaumensegels mit der hinteren Rachenwand inniger und fester werde, springt gleichzeitig mit dem Heben des Segels dieser Wulst hervor.

Eine letzte, außerhalb des Gaumens gelegene Muskelgruppe trägt noch zur exakten Funktion des palatopharyngealen Systems bei. Es sind dies die Heber des Zungenbeines: m. stylohyoideus, m. stylopharyngeus, m. styloglossus und m. digastricus.

Diese extrinsischen Muskeln bewirken eine Hebung der Rachenmuskulatur und des Kehlkopfes während des Schluckaktes.

Gefäßversorgung:

Die a. pterygopalatina, ein Endast der a. maxillaris versorgt nur einen unbedeutenden Bereich des vorderen Gaumens und des Zwischenkieferkammes. Sie geht zarte Anastomosen mit der a. palatina major, der wichtigsten Gaumenarterie ein. Die a. palatina major descendens (aus a. maxillaris) versorgt das Gaumengewölbe, die a. palatina ascendens (aus der a. facialis) das velum und einen Teil des hinteren harten Gaumens.
Die a. pharyngica ascendens (aus der carotis ext.), ebenfalls an der Gaumenversorgung und der Durchblutung des Rachens beteiligt, anastomosiert mit der a. palatina ascendens.
Die Gaumenvenen münden über den plexus pterygoideus und den plexus pharyngicus in die vena jugularis int. und die vena facialis communis.
Die Blutfüllung und die Durchströmungsgeschwindigkeit werden durch arteriovenöse Anastomosen reguliert. Dadurch kann die Erwärmung der Atemluft (neben anderen Organen innerhalb des Respirationstraktes) wechselweise eingestellt werden.

Innervation

Die Innervation des Gaumensegels war lange Zeit umstritten und ist auch heute noch nicht völlig geklärt. Sensibel wird das velum von den rr. pharyngici des n. vagi versorgt (VERNET). Bei Störungen des n. vagus wird deshalb häufig eine Hypästhesie des velums beobachtet, die jedoch nicht bei Störungen im Trigeminusbereich auftritt.

Motorisch wird das Segel vom n. glossopharyngeus und von Vagusfasern innerviert. Der m. tensor veli palatini wird vom n. tensor v. p. (aus dem Ganglion oticum) innerviert. Der m. levator und der m. uvulae werden aus dem plexus pharyngeus innerviert, der Äste von dem Sympathicus , dem Vagus und dem n. glossopharyngeus enthält.
Bei Lähmungen der Gesichtsnerven wird das velum nie betroffen, jedoch bei Störungen des n. vagi vor der Abzweigung der pharyngealen Äste tritt u. a. eine Lähmung des weichen Gaumens auf der gleichen Seite auf. (Avellisches Syndrom).
Das gánze Gaumensegel ist von Schleimhaut überzogen. Gemäß seiner Lage befindet sich auf der oralen Seite das geschichtete Plattenepithel der Mundhöhle, während auf der nasalen Seite das zylindrische Flimmerepithel der oberen Luftwege vorherrscht. Zahlreiche Schleimdrüsen halten das Segel ständig feucht.

II. PHYSIOLOGIE UND MECHANIK DES GAUMENSEGELS

a) Der velopharyngeale Verschluß

BERENDES vergleicht die physiologische Organgemeinschaft, die der Entstehung der Sprachklänge dient, mit der Einrichtung einer Orgel. Die Luft wird von der Lunge unter Druck durch die Luftröhre (das Windrohr) dem Kehlkopf mit den Stimmlippen (dem Zungenwerk der Orgel) zugeführt. Durch die schwingende Bewegung der Stimmlippen entstehen Schwingungen in der (als Ansatzrohr dienenden) Schlund- Mund- und Nasenhöhle, die vermittels ihrer besonderen, für jeden einzelnen Laut wechselnden Raumgestalt dem entstandenen Schall die Besonderheit des menschlichen Stimmklanges und Sprachlautes verleihen (6).

Die wechselnde Raumgestalt des Ansatzrohres (Mundhöhle mit ihren Organteilen sowie die damit verbundene Zungenmuskulatur, die Nase, die Nasennebenhöhlen und schließlich die äußeren Gesichtsmuskeln) wird zum Teil durch die Funktion des Gaumensegels erwirkt. Harter und weicher Gaumen trennen den Resonanzraum der Nase von dem des Mundes. Der weiche Gaumen, als beweglicher formentsprechender Muskel, hängt in Ruhe bis auf den hinteren Teil des Zungenrückens herab, um für die Atmung die Passage Schlund-Nasenraum offen zu halten.

Bei Artikulation jedoch verlegt er diesen Weg mehr oder weniger, so daß, durch die Absenkung des Unterkiefers unterstützt, jetzt die Passage Schlund-Mundraum frei wird.

Die Tätigkeit des weichen Gaumens mit seinem Zäpfchen vergleicht WÄNGLER mit einer Art von Klappenventil im Dreierweg Schlund- Mund-Nasenraum. Das Ventil erfüllt die wichtige Aufgabe, unerwünschte Klangbeeinflussungen des Nasenraumes zu verhindern. Ist die Mundöffnung sehr groß, so ist z.B. ein totaler Abschluß des Nasenweges wegen des vergleichbar höheren Luftwiderstandes nicht nötig. Je geringer indessen die Mundöffnung beim Bilden von Sprachlauten wird, um so sicherer muß die Passage zum Nasenraum versperrt werden. Damit wird eine nasale Klangbeimischung vermieden.

Die Abschlußtendenz bei mehr und mehr verlegtem Mundweg zeigt sich beim Übergang von Vokalen (wo sie sehr gering ist) über die Reibelaute zu den Verschlußlauten, wo völlige Absperrung des Nasenweges tatsächlich erreicht wird.

Dieser oral- nasopharyngeale Synergismus (WÄNGLER) in Abhängigkeit des nasopharyngealen Verschlusses schließt den Nasenraum nicht einfach ab bzw. gibt ihn den Nasales frei, sondern läßt feinste Abstufungen erkennen,

die ein offenes Näseln gerade noch verhindern.
In diesem Raumsystem spielt die Zunge bei der Stimmgebung eine sehr wichtige Rolle. Während sie ihre Form ändert, bleibt ihr Volumen immer konstant. Auf Grund der engen Verbindung der Zungenbasis mit dem Gaumensegel sind bestimmte Zungenbewegungen auch von Gaumensegelbewegungen begleitet (29) (ARKEBAUER, DAITO).
A. MITRINOWICZ hat festgestellt, daß alle Muskeln des Gaumens, der Speiseröhre und des Zwerchfells die gleiche Chronaxie von 0,20 - 0,32 m/s haben, was nach dem BOURGIGNON'schen Gesetz auf eine einheitliche Funktionsgruppe dieser Muskeln hinweist. In diesem synergistischen System des Sprechapparates ruft jede Veränderung (z.B. Gaumenspalte) eines seiner Teile zwangsläufig eine Disordination des gesamten Koppelungssystems hervor.
Eine Spaltbildung im Bereich des Gaumens beeinträchtigt nicht nur das Sprechen, Schlucken, Blasen und Saugen, sondern auch die mit ihm gekoppelten Zungen- und palatopharyngealen Muskelsysteme. Die Sphinktertätigkeit wird negativ beeinflußt, und herabgleitende muskuläre Faserzüge greifen störend in das laryngeale Geschehen ein. (DOUBEK) (14)
Ein einfaches Experiment von THOORIS verdeutlicht diese Verbundenheit. Wird während der Stimmgebung (a) eine geeignete Sonde in den unteren Nasengang eingeführt und ein Druck auf das Gaumensegel ausgeübt, so sinkt der Ton deutlich um etwa einen Halbton.
In seiner Gestalt ähnelt das Gaumensegel dem in der Technik bekannten Klappenventil. Wir unterscheiden den muskulösen horizontalen und den dünnen muskelarmen, aber drüsenreichen vertikalen Teil des Segels. Zwischen beiden Teilen erfährt es eine Abknickung in Form eines Knies. Um einen exakten Verschluß zu erhalten, wird das Gaumensegel nach rückwärts und aufwärts gehoben, wobei sich die Fasermasse des oberen Schlundschnürers (constrictor pharyngis sup. sive cephalopharyngeus) zusammenzieht und nach vorn bewegt. Der auf diese Weise entstandene Wulst wurde erstmals von PASSAVANT 1863 näher beschrieben. An ihn lehnt sich der Segel ungefähr 1 cm oberhalb der Grundfläche des Zäpfchens an (36). PASSAVANT weist besonders auf die durch zahlreiche Fasern miteinander verbundene Muskulatur des Rachens hin, die an allen Bewegungen des velums beteiligt ist, sowohl den reflektorischen beim Schlucken und Würgen, als auch den willkürlichen beim Sprechen und Singen. Durch diese Muskelsysteme wird ein dichter, konzentrischer, sphinkterartiger Verschluß erreicht. (SEEMAN u. VOLTOLINI)

Im einzelnen läuft die Mechanik des Verschlusses folgendermaßen ab:
Seitlich an der Rachenwand drängen sich die dicken vertikalen Falten der Levatorwülste vor, während die hinteren Gaumenbögen an Dicke zunehmen. Nach HARRINGTON bildet der m. salpingo-pharyngeus in Verbindung mit den mm. palatopharyngeus und pterygopharyngeus die wirksamste Komponente der seitlichen Verengung.
Von der Rachenrückwand springt der PASSAVANT'sche Wulst gegen das Lumen vor.
Vorn wird die Tätigkeit des Segels durch die Kontraktion des m. azygos uvulae unterstützt. Sie erfolgt durch eine senkrechte Vorwölbung in der Mitte der Hinterfläche des weichen Gaumens. Diese vertikale Verdickung schmiegt sich als letzte Sicherung in die nunmehr verschwindende Öffnung (ARNOLD).
Diesen sphinkterartigen Verschluß, bei dem sich die horizontale Platte des Segels manchmal über 20° über die Horizontalebene erhebt, vergleicht ARNOLD mit dem Mechanismus einer photographischen Blende.

Eine zweite Verschlußart, bei der es lediglich zu einer flachen Anlage oder queren Spaltverschluß des abgeknickten velums an den PASSAVANT'schen Wulst kommt, wird von ihm nur selten beobachtet.
Dagegen sehen TARNEAUD und BOREL-MAISONNY diese Art von Verschluß als normal an und deuten den seltener beobachteten Sphinkterverschluß als Zeichen für eine velare Insuffizienz.
Ebenso konnte MOLL (1965) bei völlig gesunden Versuchspersonen keinen PASSAVANT'schen Wulst feststellen. Er betrachtet ihn lediglich als Kompensationsmechanismus bei pathologischen Veränderungen im Ansatzrohr (33).

Völlige Übereinstimmung mit dieser Auffassung geht aus den Berichten von M. LACZKOWSKA hervor. Von 390 mit der Hochfrequenzkamera (128 - 256 Bilder) untersuchten Patienten zeigen bei normaler Artikulation 318 keinen PASSAVANT'schen Wulst. Bei der Nachuntersuchung stellten sich bei den Patienten mit mobilem Wulst zum größten Teil pathologische Sprecherscheinungen heraus.
Durch Untersuchungen von SANVENERO-ROSSELLI an Patienten nach Oberkieferresektion wird diese Beobachtung bestätigt.

Bei operierten Gaumenspalten unter Verwendung von Pharynxlappen folgen Entspannung und Kontraktion des Gaumensegels während der Artikulation rasch aufeinander, wobei sich die Pharynxwand ihrerseits regelmäßig gegen das Gaumensegel bewegt.

Abhängig ist der Wulst vor allem auch von der Stimmgebung. Bei lauter und

hochtoniger Stimme ist er deutlicher ausgeprägt als bei normaler Stimmlage.
Diese Tatsache macht die Objektivierung des Wulstes ungeheuer schwer, da neben seiner Erkennung die qualitative Festlegung der Sprache erforderlich ist.

b) Verschlußkraft und Abschlußdichte

Die Verschlußkraft des Gaumen- bzw. Rachenverschlußes kann recht erheblich sein. Mit dem HARTMANN'schen Meßverfahren bekommt man folgende vergleichbare Werte in Millimetern Hg.

a	o	u	e	i	ss	t	w
38,2	42,2	41,5	41,2	62,6	52,5	58,3	51,3

Bei dem Vokal a wird selten ein Verschluß gefunden. Unter den Konsonanten zeigen die Nasallaute m, n, ng die geringste Erhebung des Gaumens. Dies erklärt die Tatsache, daß der Laut a bei Gaumenspaltenträgern oft völlig normal klingt. Dagegen werden bei ss oft hohe Einzelwerte über 160 mm Hg erzielt, die auf einen sehr kräftigen Verschluß hindeuten, wodurch ein offenes Näseln bei Zischlauten am stärksten bemerkbar wird.

NEGUS bestätigt den von HARTMANN erbrachten Nachweis, daß der physiologische Verschluß zwischen Meso- und Epipharynx vollkommen und so fest ist, daß ein Druck von 30 - 100 mm Hg ausgeübt werden müßte, um den Widerstand des weichen Gaumens zu überwinden.

Ähnliche Untersuchungen sind von BIEBENDT und CALNAN vorgenommen worden. Nach CALNAN kommt es jedoch schon bei einigen Vokalen - so beim langen (i:) - zu einem festen Verschluß, der in der Tendenz des weichen Gaumens erkennbar ist, sich leicht nach oben zu ziehen. Im Hinblick auf die Untersuchungen CALNAN's darf man annehmen, daß bei allen Geräuschlauten (ausgenommen die halbvokalischen j und v) der völlige Abschluß erreicht wird, der aber gewiß auch seinerseits wieder verschiedene Festigkeitsgrade kennt (WÄNGLER).

H. STERN hat Messungen der Verschlußkraft des Gaumensegels unter Berücksichtigung des Lebensalters bei Vokalen und S-Lauten durchgeführt. Er fand unter den Vokalen bei i und unter den Konsonanten bei ss die größte Kraft (20).

KRECH berichtet dagegen, daß bei gesunden Sprechern der deutschen Sprache das velum nur bei sehr wenigen Konsonanten abschließt ohne daß ein Näseln auftritt. Gleiches gilt für alle Vokale (26).

Auch S. SMITH kann bei den Verschlußlauten p, t, k und b, d, g keinen nasalen Durchschlag feststellen. Er registriert lediglich als Folge der Erhöhung des oralen Druckes durch den Mundabschluß einen kurzzeitigen Hub der Nasallinie seines Registriergerätes.

Ebenso schwankend wie die Verschlußkraft ist die Abschlußdichte des Segels. So verhindert z.B. ein starkes Niederdrücken der Zunge ein Anheben des velums. Es bleibt ein kleiner offener Kanal, der in seinem Durchmesser stark den physiologischen Schwankungen unterlegen ist. Messungen des Gaumensegelabstandes von der hinteren Rachenwand mit dem Velopharyngometer nach SEEMAN ergeben physiologische Werte von wenigen Millimetern. Erst bei größerem Abstand (6 - 10 mm) wird pathologisches offenes Näseln bemerkbar.

Bei M. SCHMIDT und B. FRÄNKEL liegen die Grenzwerte störender Einflüsse bei den Vokalen e und a bei 20 mm^2 Querschnitt oder bei 5 - 6 mm Durchmesser.
PASSAVANT schreibt, daß noch kein merklich nasaler Klang entsteht, wenn die Verbindung zum suprapalatinalen Raum (GUTZMANN) nicht größer ist als etwa 13 mm^2.

c) Bewegungen des Segels: Während der Phonation

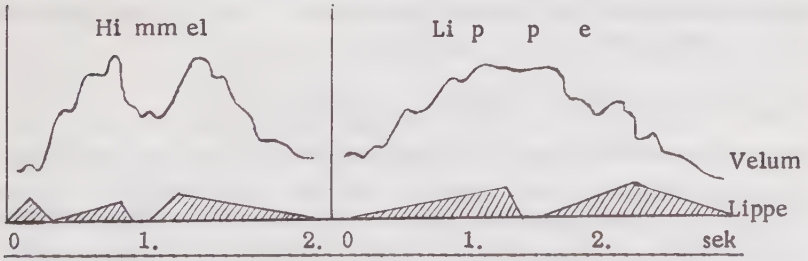
Das Gaumensegel nimmt als Muskel eine gewisse Ruhestellung ein. Diese unterliegt dem psychomotorischen Einfluß, wie E. MÜLLER (1956) am Beispiel eines Satzes und einer Wortreihe demonstriert. Er beobachtet die Gaumensegelbewegungen synchron mit den Lippenbewegungen. Die Bewegungskurve des Sprichwortes "Morgenstund hat Gold im Mund" zeigt, daß dem hier zum Ausdruck gebrachten Gedanken auch ein einheitlicher motorischer Vorgang entspricht. Zu seiner Ausgangsstellung, der völligen Erschlaffung, kehrt das Gaumensegel daher erst wieder zurück, wenn der Sprechakt beendet ist.

Unter dem Einfluß des Sprechwillens wird der Gaumen bereits angehoben, bevor sich die Lippen zum anlautenden m schließen. Das Anheben des Gaumensegels setzt also schon vor den eigentlichen Artikulationsbewegungen ein. Dieses In-Bereitschaft-Stellen auch der übrigen am Sprechvorgang beteiligten Muskelsysteme nennt NADOLECZNY "Artikulationsbasis" und

H. GUTZMANN "Gesamtveränderung".

Aus dieser Bereitschaftsstellung heraus erfolgt die Artikulation, indem der Gaumensegeltonus vermindert oder gesteigert wird, woraus sich als Funktion der Zeit eine unregelmäßige Wellenbewegung ergibt.
In dieser entsprechen die Wellenberge den Verschlußlauten, Wellentäler hingegen der Aussprache von Resonanten. Das Gaumensegel senkt sich hierbei stets bis zum gleichen Niveau, d.h. einer Stellung, in der eine schmale Verbindung vom Mund zum Nasenrachen gerade zustande gekommen ist.

Ähnlich wie beim Satz bleibt das velum bei dem reproduktiven Sprechen während der Sprechpause gehoben, wenn vor- und nachgesprochene Worte unmittelbar aufeinander folgen (MÜLLER) (34).
Der Gaumensegeltonus wird dabei offenbar durch Aufmerksamkeit und inneres Mitsprechen bis zum Ende der Sprechhandlung aufrecht erhalten. Weiter wird beobachtet, daß das jeweilige Gaumensegelniveau in der Sprechpause von dem anlautenden Vokal abhängig ist.
Die Gegenüberstellung der Worte Hi-mmel und Li-pp-e machen deutlich, wie die Senkung des Gaumensegels bei "m" mit dem Lippenschluß zusammenfällt, während es bei dem Wort Lippe eine einfache Auf- und Abbewegung durchführt, wobei der Gaumen bei dem Explosivlaut p am stärksten angehoben ist, während die Lippen geschlossen sind (Abb. geändert nach MÜLLER) (35).



J.W. KAISER demonstriert mit dem Wassermanometer, daß beim Übergang von einem Nasen- zu einem Mundlaut und umgekehrt der Gaumensegelverschluß bzw. die Öffnung immer in der Weise erfolgt, daß der vorausgehende Laut von dem folgenden beeinflußt wird.
Dem in der Phonetik als Lautangleichung bekannten akustischen Phänomen

liegt daher, wie aus den Gaumensegelbewegungen hervorgeht, ein entsprechender motorischer Vorgang zugrunde.

Elektromyographische Untersuchungen von FRITZELL verdeutlichen diese Vorgänge noch auf eine andere Weise. In der Ruhestellung zeigen der m. levator und der m. tensor keine Aktivität. Kurz vor dem Sprechvorgang gibt es jedoch eine gleichzeitige Aktivität beider Muskeln. Die Dauer dieser "Ruheperiode vor dem Sprechvorgang" (acoustically silent, FRITZELL) ändert sich bei verschiedenen Lauten.
Eine erhöhte Aktivität tritt auf und bleibt solange erhalten, wie ein oraler Laut erzeugt wird. In der Regel vermindert sich das Aktionspotential in Frequenz und Amplitude und schwindet mehr oder weniger vollständig, bevor die Sprache beendet ist. Bei Wörtern mit nasalem Anfang gehen im Vergleich zu Wörtern mit oralem Beginn sehr viel häufiger Aktionspotentiale voraus, obwohl diese während der Nasallaute eine geringere Frequenz und Amplitude aufweisen. So wird das Auftauchen eines Nasallautes gewöhnlich im Elektromyogramm angezeigt, bevor der Laut im Mikrofon aufgenommen wird.

Zu Beginn eines Nasallautes innerhalb eines Wortes läßt das Aktionspotential nach oder verschwindet häufig vollkommen, um wieder aufzutreten, sobald die akustische Lautgebung einsetzt.

Im Gegensatz zum m. tensor erkennt FRITZELL als einzigen myographischen Unterschied einen schnelleren Start ("quicker start") des m. levator.
Die Elektromyographie wird während des Sprechens durchgeführt, wobei die normale Artikulation nur unwesentlich gestört ist, wenn man die Elektroden durch die Nase einführt und diese mit Privin abschwellt.

Bewegungen des Segels: Während des Schluckens

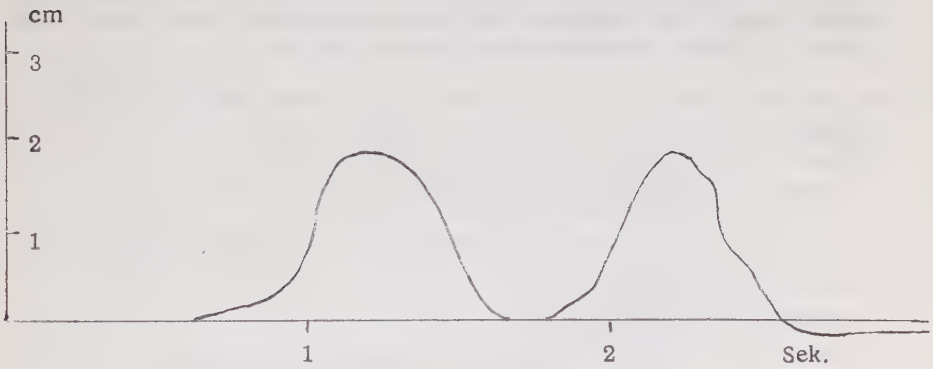
Während bei der Phonation die Hebung des Gaumens eine der wichtigsten Bewegungen darstellt, wird diese beim Schluckakt noch zusätzlich von der Zungen-Rachen- und Kehlkopfmuskulatur unterstützt. Hier handelt es sich regelmäßig um eine peristaltische Sphinkterreaktion, die in Bezug auf das velum folgende Einzelphasen aufweist:
Mit der Verlagerung der seitlichen Rachenwände nach innen steigt der weiche Gaumen empor. Es folgt eine leichte Senkung, die sofort wieder durch ein rasches Ansteigen abgelöst wird. Gleichzeitig kontrahieren sich die Levatorwülste, wobei sie sich etwas nähern. Es zeigen sich die beiderseitigen vertikalen salpingo-pharyngealen Falten. Jetzt erst berühren die Levatorwülste das velum in seiner extremen Hebung.

Die Kontraktion der Pharynxmuskulatur beginnt reflektorisch, wenn der Speichel durch eine Kontraktionswelle der Zungenmuskeln - unter ständigem Kontakt von Gaumensegel und Zungenwurzel - bis zum vorderen Pharynxbogen gelangt ist (DIJKMAN) (13).

E. MÜLLER erkennt beim Schlucken von Wasser zwei maximale, gleichförmig verlaufende und in Bruchteilen einer Sekunde aufeinanderfolgende Gaumensegelkontraktionen, deren Dauer ebenfalls weniger als eine Sekunde beträgt. Diese Beobachtungen wurden von U. OLTERSDORF bestätigt.

Bemerkenswert ist, daß in der kurzen Pause zwischen den beiden Anhebungen das Gaumensegel zur Ausgangsstellung zurückkehrt, also völlig erschlafft.

Abb. Gaumensegelbewegung beim Schlucken nach MÜLLER.



Auf die zweite Kontraktion folgt eine rasche Senkung des Segels, wobei die Abschlußstelle Trichterform annimmt. Es beginnt die allmähliche Erschlaffung der Levatorwülste. Die salpingo-pharyngealen Falten verharren noch in enger Annäherung bis zur völligen Erschlaffung aller Gaumenmuskeln.

Im Gegensatz zu E. MÜLLER sehen H. BAUER und W. SCHWAB den Schluckakt unter normalen Bedingungen monophasisch, seltener biphasisch ablaufen. Dagegen kann bei sensiblen Patienten der Anhub völlig unregelmäßig verlaufen.

E. WARDILL beobachtet an Patienten nach Oberkieferresektion direkt, daß von der Gaumensegelmuskulatur der m. tensor beim Schluckakt am stärksten beteiligt ist. Seine Aufgabe ist es. den Bolus über den Rand der Zunge hinwegzuschieben.

Bewegungen des Segels: Während des Blasens und Saugens

Man unterscheidet das Aufblasen der Backen von dem Blasen durch den geöffneten Mund. Beim Aufblasen der Backen erfolgt keine Hebung des velums. Der Abschluß wird durch das Anpressen des Zungenrückens gegen den weichen Gaumen hergestellt. Dadurch wird bei aufgeblasenem Mund die Nasenatmung freigehalten.

Umgekehrt verhalten sich die Luftwege beim Blasen durch den Mund. Der nasale Weg wird durch den velopharyngealen Verschluß gesperrt, wobei mit der Stärke des Blasens der Hub des velums zunimmt. Diese Erscheinung bildet die Grundlage für die Therapie von velaren Schwächezuständen (BLOOMER).

Das Anheben des Gaumensegels ähnelt hierbei in seiner Form weitgehend der Bewegung bei der Phonation. Der palatopharyngeale Verschluß beschränkt sich wie dort mehr auf das Heben des weichen Gaumens.

Mc WILLIAMS und D.P. BRADLY unterscheiden sieben Stufen des Nasenabschlusses:

1. Vollständiger Verschluß
2. Teilweiser Verschluß
3. Berührung des velums mit der hinteren Pharynxwand
4. Enge Öffnung
5. Leicht geöffnet
6. Weit geöffnet
7. Keine Bewegung des velums in Richtung auf den Verschluß

(47)

Das Saugen dagegen ist beim Erwachsenen von untergeordneter Bedeutung, während es beim Säugling die übliche Art der Nahrungsaufnahme ist. Der erforderliche Sog wird in der Mundhöhle dadurch gebildet, daß sich der Rachen zusammenzieht und das velum sich hebt. ŠKALOUD zufolge erfolgt der Abschluß an der Zungenwurzel, an die das velum und die vorderen Bögen gedrückt werden. Die Erweiterung der Mundhöhle und zugleich das erforderliche Saugvakuum entsteht durch die Abwärtsbewegung des Unterkiefers. (F. BURIAN) (11)

Bewegungen des Segels: Beim Bauchreden

Hierbei ist eine besondere Bewegung des Gaumensegels erkennbar. Die Stimme klingt etwas gepreßt und von weit herkommend. Dementsprechend befindet sich das velum bei dieser Stimmart in einem spitzwinklig

abgeknickten Zustand. Wie beim Leerschlucken und sehr angestrengtem Sprechen hebt sich auch hier unter Mitwirkung des m. azygus uvulae die vertikale Platte, die sonst bei der Artikulation keine Bewegungen ausführt.
Die Vorderfläche des weichen Gaumens biegt sich sehr stark ab und erzielt so einen besonderen, stärkeren Verschluß des Nasenrachenraumes. Die Gaumenbögen kontrahieren sich auf's stärkste, und die Zunge zieht sich weit nach hinten zurück. Auf diese Weise entsteht ein verkleinerter Resonanzraum, der bei der Phonation weniger Luft durch Nase und Mund entweichen läßt. Auf diesen besonderen Umstand weist schon A. RICHERAND 1804 hin.

d) Phylogenetische Betrachtung des Nasenrachenverschlusses

Im Laufe der phylogenetischen Entwicklung des Menschen erfährt das palatopharyngeale System eine weitgehende Differenzierung. Ähnlich der Sprachentwicklung des Kleinkindes leiten sich die ersten artikulatorischen Bewegungen ursprünglich aus den primären Lebensäußerungen des Saugens, Kauens und Schluckens ab.

Eine Differenzierung primär vitaler Bewegungen für Atmung und Ernährung einerseits und den sekundär überlagerten Leistungen für Phonation und Artikulation andererseits, ergeben im Laufe der Entwicklung ein glückliches Zusammenspiel.
So sind die Verschlußlaute verwandt dem Schließen der Lippen nach Einführung des Bissens (L a b i a l e s), dem Anliegen der Zunge an die Zähne und an den Gaumen während des Schluckens (D e n t a l e s) oder dem Zuschnüren des Schlundes während des Würgens und Hustens (Pharyngeale und Laryngeale Fricativae) (ARNOLD).

Es zeigt sich weiter, daß die phylogenetisch älteren und für vitale Schutzfunktionen wichtigen Reflexbewegungen (z. B. Schlucken) widerstandsfähiger und rascher ausgleichbar sind als die sekundären, später erworbenen Artikulationsmechanismen. Es ist bekannt, daß sich bei postdiphtherischer Gaumenlähmung die Schluckstörung mit dem Schwinden der Parese schneller ausgleicht als das offene Näseln abklingt.

Der "ältere" Sphinkterverschluß beim Schlucken, Schreien, Saugen oder Würgen wird demnach von dem "jüngeren" velaren Klappenverschluß bei differenzierter Artikulation überlagert oder gar ganz abgelöst.

Von pathologischer Regression wird gesprochen, wenn die phonatorische Gaumenhebung auf das physiologisch primitivere Stadium des deglutinatorischen Sphinkterverschlusses bei velarem Sigmatismus zurückfällt.

III. PATHOLOGISCHE ERSCHEINUNGEN DES GAUMENSEGELS

a) Gaumenspalten und sprachtherapeutische Maßnahmen

Zu den durch vorübergehende endogene oder exogene Ursachen im Sinne einer Fruchtschädigung entstandenen Entwicklungshemmungen zählen besonders die angeborenen Spaltbildungen des harten und weichen Gaumens. Mit derartigen Mißbildungen geborene Kinder sind häufig lebensschwach und infolgedessen den vielfachen schädlichen Einflüssen des extrauterinen Lebens gegenüber weniger widerstandsfähig.

Der geringste Erfolg ist dem Saugversuch beschieden. Durch den mangelnden Abschluß der Mundhöhle gegen die der Nase wird die Herstellung eines Unterdruckes in der ersteren unmöglich gemacht. Vielmehr fließt die in den Mund doch schließlich gelangende Flüssigkeit leicht auch in die Nasenhöhle. Der hierdurch verursachte Reiz gibt Anlaß zu Würg- und Hustenbewegungen, begünstigt ein Fehlschlucken und schwört die Gefahr einer gerade für Kleinkinder außerordentlich gefährlichen Aspirationspneumonie herauf. Ferner bilden in Spalten und in den Nasenhöhlen verbliebene Speisereste eine Brutstätte für Bakterien. Die Atemluft gelangt außerdem - ohne gehörig vorgewärmt und mit Wasserdampf gesättigt zu werden - kalt, trocken und keimreich in die tieferen Luftwege.
Ist es trotz dieser Schwierigkeiten und Gefahren gelungen, das Kind über die erste gefährliche Zeit hinwegzubringen, so bleiben auch im späteren Leben ernsthafte Störungen zurück, wenn nicht chirurgisch für eine einwandfreie Nahrungsaufnahme und logopädisch für eine fehlerlose Aussprache gesorgt wird.

Bei einer vollständigen Spalte ist der weiche Gaumen im zentralen Teil gespalten, so daß die Verbindung der Muskeleinheiten beider Seiten unterbrochen ist. Vor allem ist hier die Gaumenaponeurose nicht voll entwickelt. Je älter das Kind wird, desto schwächer sind die einzelnen Muskeln, denn diejenigen Partien, die den größten Anteil an den Bewegungen des velums haben, unterliegen einer sekundären Atrophie. Der harte Gaumen wird ebenfalls immer verkürzt erscheinen, da die natürlichen Wachstumsreize fehlen. Die Muskelteile, die auf das velum wirken, üben ihre Tätigkeit weiter aus, sie bleiben unverändert, gegebenenfalls hypertrophieren sie auch, wenn sie eine andere Tätigkeit mit übernehmen. So hypertrophiert beim m. pharyngopalatinus jener Teil, der am hamulus ossis pterygoides und an der Aponeurose des Gaumenbeines inseriert.
Er hebt zusammen mit dem m. stylo- und salpingo-pharyngicus die muskulöse

Schlundröhre, hilft mit, an ihr den Querwulst zu bilden und zieht gleichzeitig die hintere Rachenwand nach vorn.

Der m. levator inseriert in der Schleimhaut des Spaltrandes. Er ist von Fasern des m. pharyngopalatinus durchflochten. Aus dem vorderen Teil gehen zahlreiche Fasern in den Randmuskel der Spalte über, während sich die hinteren Fasern in der uvula verlieren. Dieser ganze Muskel unterliegt bei nicht operierten Spalten einer allmählichen Atrophie.

Der m. uvulae, der schon normalerweise sehr unbedeutend ist, atrophiert beträchtlich, ebenso der m. glosso-palatinus. Der m. tensor büßt an der Spalte seine ursprüngliche Bedeutung und seine Tätigkeit völlig ein (23).

Die Beseitigung der Mißbildungen und der damit verbundenen Funktionsstörungen ist nur auf operativen Wege gewährleistet. Der Zeitpunkt der Operation spielt hierbei eine wichtige Rolle.

Da einerseits der schlechte Zugang durch die enge Mundöffnung und der schwer vermeidbare, für den Säugling gefährliche Blutverlust einen frühzeitigen Eingriff in den ersten Lebenswochen verbietet, und andererseits wegen der besonderen Wachstumsverhältnisse des Oberkiefers eine optimale Spaltbreite zwischen dem zweiten und dritten Lebensjahr gefunden wird, scheint dieser Zeitraum für die Operation günstig zu sein. Damit wird auch bis zur Schulzeit ein endgültiger Zustand und die Grundlage für eine richtige Aussprache geschaffen. Wichtig von zahnärztlicher Seite ist es, vorbeugend eine kieferorthopädische Behandlung vorzunehmen, um einer, durch den Narbenzug drohenden Kompression des Oberkiefers entgegenzuwirken.

BERENDES unterscheidet bei der Festlegung des Operationstermines zwischen dem Verschluß des weichen und dem des harten Gaumens. Im ersteren Falle wird erst operiert, wenn das Kind 8 - 10 kg wiegt, im letzteren erst, wenn die bleibenden Zähne vorhanden sind.

F. BURIAN operiert nach Erreichen des fünften Lebensjahres, wobei die Familienverhältnisse eine besondere Berücksichtigung finden. Einer frühzeitigen Operation wird kein Erfolg beschieden sein bei zerrütteten Familienverhältnissen, oder wenn die Eltern selbst schlecht sprechen und nicht fürsorglich genug sind.

Ein einheitlicher Operationstermin kann also nicht festgelegt werden, zumal auch der Gesamtzustand des Kindes - geregelte Ernährung und ständig zunehmendes Gewicht - berücksichtigt werden muß.

TRAUNER demonstriert an 300 operierten Gaumenspalten, daß bei 88 % der frühoperierten Kinder zur Erlangung einer normalen Sprache nur eine geringe Sprachbehandlung notwendig ist. Nach dem vierten Lebensjahr operierte Kinder bedürfen dagegen immer einer ausgiebigen Sprachbehandlung.

Um funktionell ein besseres Ergebnis bei operierten Gaumenspalten zu erzielen, werden die verschiedensten Methoden angegeben. Diese zielen darauf hin, die Beweglichkeit und die Funktion des Segels bzw. der Rachenmuskulatur für den nasopharyngealen Abschluß zu gewinnen. Dies geschieht in aktiven Übungen und passiven Maßnahmen:
ANDRÄ kann bei 80 % der operierten Gaumenspaltenträger die Nasalität durch Mobilisierung der seitlichen hinteren Rachenwandmuskulatur beseitigen (1). Hierbei steigt jedoch der Mißerfolg mit der Verlagerung des Operationstermines über das 8. Lebensjahr hinaus.

C. KIEHN (1965) versucht in Amerika an Stelle der immobilen oder vernarbten Gaumensegelmuskulatur bei operierten Gaumenspalten die funktionstüchtige Kaumuskulatur zur Mobilisierung des Segels heranziehen. Er bewirkt durch Übertragung der Muskelkraft der Kaumuskulatur (m. temporales und m. masseter) auf das velum eine Anhebung desselben und somit einen besseren Verschluß.

WULFF ersetzt nach seinen Erfahrungen die passive Gaumensegelmassage vorteilhafter durch eine aktive Gaumengymnastik bei Sprechübungen. Er läßt mehrmals täglich die Silben aha, appa, atta, akka aussprechen, wobei das zweite a hoch und kräftig aus dem Munde ausgestoßen wird.

FROESCHELS geht von der Tatsache aus, daß das velum beim Schlucken stärkere Bewegungen erfährt als beim Sprechen. Er läßt Stoßübungen durchführen und nutzt das Lusterlebnis des Essens für seine Therapie - der Kaumethode - aus.
GUTZMANN teilt die Therapie in aktive Übungen (Pust-, Pfeif- und Lautübungen) zu Hause und passive Maßnahmen (Sonden) in der Sprechstunde ein. Mit der Gaumensonde wird das velum so weit nach hinten geschoben, bis es die Rachenhinterwand berührt. Durch den Berührungsreiz wird eine Kontraktion derselben ausgelöst. Später wird die Gaumensonde während der Phonation in die Therapie mit einbezogen, die durch die Gaumensegelmassage und die Elektrosonde ergänzt wird.

Die Therapieergebnisse prüft DOUBEK im Sinne der Chronaxiebestimmung nach A. MITRINOWICZ (14). Danach bessern sich die Erregbarkeitswerte erheblich nach einer die logopädische Unterweisung begleitenden Massagebehandlung.

b) Das Näseln

Die Folge eines gestörten nasopharyngealen Abschlusses - sei es aus organischen oder funktionellen Ursachen - ist immer eine Resonanzstörung der Sprache, verursacht durch den nasalen Beiklang der Laute.

KUSSMAUL charakterisiert das Näseln kurz und treffend: "die Nase sei offen, wenn sie geschlossen, oder geschlossen, wenn sie offen sein sollte". Damit ist schon gesagt, daß es mindestens zwei grundverschiedene Arten des Näselns gibt, das geschlossene und das offene Näseln. Zwischen den beiden Gegenteilen steht die dritte Form, das gemischte Näseln. Als organische Ursache des offenen Näselns erkennt man Gaumenspalten, Verkürzungen oder Lähmungen des Segels, während die funktionellen Ursachen in falscher Sprechgewohnheit (z.B. nach Tonsillektomien), nachlässiger Artikulation, Schwachsinn, Schwerhörigkeit oder Affektationen liegen.

Bei Affektationen, die auf eine unbewußte Nachahmung fehlerhafter Vorbilder beruhen, verweist NADOLECZNY als Kuriosum auf die näselnde Sprache des Gardeleutnants und das Näseln der Geistlichen im 18. Jahrhundert.

Durch röntgenologische Untersuchungen des Gaumensegels wirft NYLEN neues Licht auf die Beziehungen zwischen Nasalität und Gaumensegelfunktion. Er zeigt, daß der velopharyngeale Abschluß kein Gradmesser für die Stärke des Näselns ist (37).

Ein gleiches Ergebnis ist in der Sprechstunde der Martin-Luther-Universität durch Versuche mit Obturatoren erzielt worden. Der nasale Schalldruck weist nur minimale Unterschiede mit und ohne Obturator auf. Diese Unterschiede stehen jedoch in keinem Verhältnis zu der Klangverbesserung durch einen Obturator, die akustisch auditiv auffallen.

KRECH weist in diesem Zusammenhang noch darauf hin, daß nicht allein die Funktionstüchtigkeit, sondern - neben Kompensationsmöglichkeiten organischer Art - vor allem die Sprechspannung und das richtige Hörbild der eigenen Sprache von Bedeutung sind.

V. VEAU und S. BOREL-MAISONNY stellen fest, daß eine normale Okklusion noch keine einwandfreie Sprache garantiert. Von den Patienten, die wegen einer Gaumenspalte operiert wurden und die einen normalen Verschluß aufwiesen, hatten nur 41 % eine fehlerfreie Sprache. Hierbei hat die Geräumigkeit des Nasenrachens einen großen Einfluß auf das funktionelle Ergebnis.

c) Angeborene Insuffizienz

Als recht häufige Ursache pathologischer Spracherscheinungen sieht SEEMAN (1922) die angeborene Insuffizienz des weichen Gaumens. An 14 Patienten stellt er eine eingehende Pathologie und Symptomatologie dieses Krankheitsbildes auf. Obwohl der Gaumen in allen seinen Teilen entwickelt ist, kommt es doch zu keinem vollständigen Verschluß des Nasenrachens.
Es handelt sich hier um eine angeborene Verkürzung des Gaumensegels, oder um die nicht selten auftretende submuköse Gaumenspalte (KELLY 1910). Meist liegt hier eine Spalte im harten Gaumen vor, die sich als Muskelspalte in den weichen Gaumen fortsetzt. Die Spalte ist jedoch von einer Duplikatur nasaler und oraler Schleimhaut unterschiedlicher Stärke verhüllt. Bei der Phonation treten die schwächeren Stellen - manchmal handelt es sich nur um dünne, durchsichtige Häutchen - deutlich wulstförmig hervor. Die Spaltung der uvula ist häufig ein äußeres Zeichen der submukösen Spalte, oft ergibt aber erst ein eingehender Tastbefund die richtige Diagnose.

d) Inaktivitätsatrophie

Neben der angeborenen oder der erworbenen Gaumensegelinsuffizienz wird manchmal auch eine gewisse Velumschwäche beobachtet, die neurologisch oder laryngologisch kaum festgestellt werden kann und nur durch genaue phonetische Untersuchungen erkennbar ist.

V. IMRE weist hier auf die Inaktivitätsatrophie und Myasthenie des Gaumensegels im Kindesalter hin, deren Entstehung möglicherweise durch eine unphysiologische Säuglingsernährung bedingt ist.
Flaschenkinder zeigen, da durch die abgeschwächte Saugkraft nur geringe motorische Reize auf das velum und die Schlundmuskulatur ausgeübt werden und diese so in ihrer normalen Entwicklung gestört werden, außer einem Sigmatismus, F und K-Bildungsstörungen, öfter auch eine Nasalität vom leichten bis zum höchsten Grade.

Von 1000 untersuchten Schulkindern ergaben sich bei 30 % der Fälle insuffiziente und träge Gaumensegelbewegungen. Von diesen 30 % waren 90 % Flaschenkinder, die seit der Geburt oder bereits nach 2 - 4 Wochen mit der Flasche ernährt worden waren.

Eine velare Inaktivitätsatrophie kann auch bei Erwachsenen auftreten, die ihre Nahrung wegen Zahnlosigkeit nur in flüssiger oder breiiger Form aufnehmen. Als Begleiterscheinungen treten eine gewisse Gaumensegelmyasthenie und eine Atrophie der Kaumuskulatur auf. Die Folge ist eine

Nasalität, die oft von einer Schluckstörung begleitet wird, trotz eines negativen neurologischen oder laryngologischen Befundes. SEEMAN weist darauf hin, daß das Krankheitsbild der echten Myasthenia am velum besonders früh in Erscheinung tritt. Eine Frühdiagnose, durch provozierend langes Sprechen und Registrierung der Nasendurchschläge erreicht, ist hier für die allgemeine Lebenserwartung des Patienten von besonderer Bedeutung (40).

Als weitere Ursache für das Auftreten einer Gaumensegelinsuffizienz können hypertrophische Tonsillen, Adenoide, Mißbildungen und Dystrophien der Tonsillen verantwortlich sein. Die freie Beweglichkeit des weichen Gaumens wird in diesen Fällen eingeengt, was wiederum eine gewisse Atrophie zur Folge hat.

Zur weiteren Erklärung der Nasalität nach Tonsillektomien gibt IMRE an, daß er in 40,5 % der Fälle bei histologischen Untersuchungen quergestreifte Muskulatur in den Tonsillengeweben gefunden hat. Die quergestreiften Muskelfasern in der Tonsille üben je nach ihrer Stärke einen Zug auf die Tonsillen aus und können dadurch den Gaumenbewegungen entgegenwirken, postoperativ auch die Gaumensegelschrumpfung und die Narbenbildung beeinflussen.

e) Partielle Gaumensegellähmung

NADOLECZNY untersucht Patienten mit halbseitiger Gaumensegellähmung. Er überprüft dabei besonders die nasalen Durchschläge bei p-Lauten unter Berücksichtigung verschiedener Kopfstellungen.

Bei der Kopfdrehung passen sich einige Muskeln (besonders der m. palatopharyngeus und constrictor pharyngis medius) der neuen Lage an. Sie werden verlagert und ziehen sich auf der entsprechenden Seite zusammen, woraus eine Verengung des Zuganges zum Nasenrachenraum resultiert. Die nicht gelähmte Gaumensegelseite genügt dann oft schon, um den, zwar nicht vollkommenen, Abschluß zu gewährleisten, der ein offenes Näseln verhindert.

Die Registrierung mit dem Atemvolumenschreiber von GUTZMANN-WETHLO ergibt eindeutig, daß bei einseitiger Gaumensegellähmung ein Kopfdrehen zur gelähmten Seite das Näseln für den Hörer zum Verschwinden bringt, während es bei Drehung zur gesunden Seite stärker hervortritt.

Beobachtungen im National Hospital for Speech Disorders in New York richten sich ebenfalls auf geringfügige Befunde in den peripheren Sprechorganen. Leichte Asymmetrien der Gaumenhälften nach Mandeloperationen infolge ungleichmäßiger Narbenbildung zeigen sich als belanglos. Jedoch bedeutet eine leichte Gaumenschwäche auf einer Seite mit phonatorischem Abweichen

der Mittellinie zur Gegenseite bei erhaltenen Tonsillen den Restzustand einer paralytischen Störung des Vagussystems. Wichtig ist, daß das Vorliegen solcher Gaumenschäden eine Warnung darstellt, Tonsillektomien nur in absolut unaufschiebbaren Fällen durchzuführen. Denn allzu häufig taucht eine postoperative hochgradige nasale Sprachstörung auf, die auf einer Lähmung oder Insuffizienz des weichen Gaumens beruht, dessen Kürze erst nach der Entfernung der adenoiden Wucherung manifest wird (G. ARNOLD) (2).

f) Insuffizienzgeräusche

Bei unvollständigem Abschluß treten zwischen dem Gaumensegel und der hinteren Rachenwand häufig während der Phonation zweierlei Geräusche auf: leise Durchschlags- und laute Schnarchgeräusche.
Das leise Durchschlagsgeräusch klingt wie das stimmlose Aussprechen der Verbindungen "tn" und "kn". Es tritt auf bei geringer organischer Gaumenschwäche in Form von leisen, stoßweisen und hauchartigen Beiklängen nach Konsonanten. Besonders deutlich tritt es in Verbindung mit Zischlauten hervor.

Ein lautes Schnarchen wie im Schlafe wird durch flottierendes Sprengen des losen Verschlusses zwischen dem schlaff nach hinten hängenden Segel und der hinteren Rachenwand erzeugt. Bei Sigmatismus velaris totalis werden die Zischlaute durch diese Schnarchgeräusche ersetzt (nasales Ersatzgeräusch) (ARNOLD).

Bei einem schon häufig beobachteten Gaumensegelnystagmus (120 - 180 Zuckungen) treten neben inspiratorischer Sprechweise, Verschlucken beim Essen und schneller Ermüdung gurgelnde Töne auf. Die Ursache bildet eine Läsion im fasciculus centralis der Ponshaube, die mit einer sogenannten pseudohypertrophischen Degeneration der Olive verbunden ist.

C) UNTERSUCHUNGSMÖGLICHKEITEN DER GAUMENSEGELFUNKTION

Eine Fragestellung kann nicht deutlicher hervorgehoben werden, als in der Beschreibung der vielfältigen Versuchsanordnungen und Untersuchungsmöglichkeiten, die entwickelt worden sind, um sie zu lösen.

Einfache akustische Hilfsmittel zur Erfassung von Klangdifferenzen und zur Feststellung des Weges der Sprechluft sind das Phonendoskop, feine unter die Nase gehaltene Wattefähnchen, die GUTZMANN'sche a - i Probe und der optische Test mit der äquilibrierten Silberplatte.
1859 haben CZERMAK und später ROUSSELOT einen Fühlhebel durch die Nase bis auf die Rückfläche des Gaumensegels geschoben und dessen Bewegungen über einen zweiten Hebel auf einen Registrierzylinder übertragen. Gleichzeitig wird die Nasenhöhle luftdicht mit einem Kautschukschlauch verbunden, dessen anderes Ende zu einer Schreibkapsel führt, die über einen Spiegelmechanismus im vergrößerten Maßstab die nasalen Druckanteile wiedergibt.

RABOTNOFF wendet ein interessantes Verfahren an, indem er Mund- und Nasenhöhle durch einen in den Nasenrachenraum eingeführten kleinen Gummiballon trennt, der mit Luft oder Wasser gefüllt ist. Auf diese Weise können mit einem Kymographen die Innendruckverhältnisse aufgezeichnet werden.

WEEKE gibt ein einfaches Verfahren an, bei dem ein kleiner Knopf aus Gips, an dem ein Hebelarm befestigt ist, direkt an die Basis des Zäpfchens angeleimt wird.

Sind diese so erzielten Ergebnisse auch ungenau, so geben sie doch eine dankenswerte Bereicherung der Untersuchungsverfahren des Gaumensegels an.

1877 verbindet HARTMANN (später BIEBENT und STERN) die eine Nasenhöhle mittels einer Olive mit einem Gebläse, die andere mittels einer weiteren Olive mit einem Quecksilber-gefüllten Manometer. Die in die eine Nasenhöhle eingeblasene Luft wirkt nun solange drucksteigernd auf das Manometer, bis das Gaumensegel dem Druck nicht mehr standhält. Der Ausschlag der Quecksilbersäule ist dadurch mit der Kraft des Gaumensegels identisch.

H. GUTZMANN (1901) registriert den nasalen Durchschlag beim offenen Näseln mit einem Alkoholmanometer und einer MAREY'schen Trommel. Der normale Ausschlag des Hebels bei den Nasallauten m, n und ng dient hierbei als Vergleich gegenüber den pathologischen Durchschlägen. In

gleicher Weise stellt LUCHSINGER durch den Vergleich der Silben ama - apa pathologische Durchschläge bei p fest.
Erst in jüngerer Zeit sucht die experimentelle Phonetik auf elektroakustischem Wege Resultate früherer mechanisch-optischer Meßmethoden (KATZENSTEIN, SOKOLOWSKI) durch tiefere Erkenntnisse über das Wesen der Nasalität zu gewinnen (WINCKEL, SMITH, CONVALLAIRE, CROUSON, KRECH).

Die experimentelle Klanganalyse nasaler oder nasalierter Laute wendet DOUBEK klinisch in der Anlegung von "phonetischen" Karteikarten an. Er ersetzt das zuerst verwendete Rhinoaerometer durch die isochrome Messung der oralen und nasalen Schalldruckanteile über ein Doppelmikrophon mit getrennter Registrierung der Werte. Die verschiedenen bei der Lautanalyse gefunden Kurven werden in einer Karteikarte eingetragen und könen mit den späteren Therapieergebnissen leicht verglichen werden (14).
Eine weitere Vergrößerung des technischen Aufwandes bringt die Verwendung des photographischen und des röntgenologischen Filmes mit sich.
E. MÜLLER und BLOOMER (1953) filmen die Gaumensegelbewegungen direkt bei Patienten nach Totaloperationen im Oberkiefergebiet. Ebenfalls dieser Technik bedienen sich WARDILL und WHILLIES, SANVENERO-ROSELLI, H. BAUER und W. SCHWAB. Ein verändertes physiologisches Milieu hat dabei für die grundsätzlichen Bewegungen keinen Einfluß.

Zu der ersten Anwendung der Röntgenstrahlen auf medizinischem Gebiet gehört das radioskopische Studium der Sprechbewegungen durch SCHLEIER (1897). Aus den ersten Anfängen der Röntgenröhre haben sich bis heute die modernsten Röntgenfilm- und Fernsehkameras entwickelt, die so vielzählig sind, daß nur einige grundsätzliche Methoden erwähnt werden können.
Mc. WILLIAMS und D. P. BRADLY koppeln die seitliche Röntgenkinematographie mit synchroner Tonbandaufzeichnung (Televex), während L. BJÖRK und B. NYLEN die Röntgenphotographie des velums mit der Lautspektrographie verbinden, so daß auf kleinste zeitliche Einheiten dem jeweiligen akustischen Effekt die entsprechende Stellung des Segels zugeordnet werden kann (38). M. MARCHAL verwendet die Methode der kinematographischen "Dichtigkeitsschreibung" zur Aufzeichnung der Gaumensegelfunktion während der Phonation.
Bei dieser "Ciné-densigraphie" handelt es sich um die Registrierung der Helligkeitsunterschiede, die eine Auswahl Photoelektroden mit zugeordneten oszillographischen Verstärkerröhren aufnehmen.
Die Versuchsperson wird in Profilstellung geröntgt, wobei die photoelektrischen Elemente vor dem Schirm so angeordnet sind, daß sie in den Bewegungsbereich

des Gaumensegels fallen. Infolge der Bewegungen des Segels während der Artikulation wird der Ablauf der Röntgenstrahlen moduliert, und die oszillographischen Verstärkerröhren schreiben auf einem mit Zeitmarken versehenen Film die entsprechenden Dichtigkeitskurven.

Die Untersuchungsmethoden des Gaumensegels erfahren in ihrer Kompliziertheit die verschiedensten Abstufungen. Sie richten sich jeweils nach dern Erfordernissen, die an eine Versuchsanordnung gestellt werden (QUIGLY, COBB, PAYNE, VEAU, S. BOREL-MAISONNY, FRÖSCHELS, L. STEIN).

D) EIGENE UNTERSUCHUNGEN DER VELOPHARYNGEALEN OKKLUSION BEI VERSCHLUSSLAUTEN

I. VORAUSSETZUNGEN, FEHLERQUELLEN, VERSUCHSPERSONEN

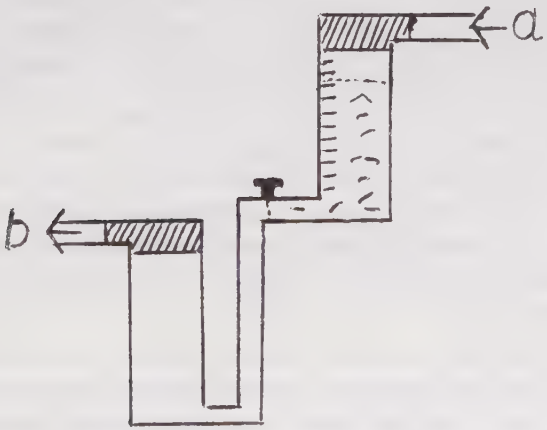
Es ist schwierig, aus der Vielzahl der vorhandenen Registrierungsmethoden und -geräte, das für die eigenen Untersuchungen geeignete Verfahren auszuwählen. Zwei Faktoren spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Die Beschaffung oder die Konstruktion eines Gerätes einerseits und die Abstimmung desselben auf den besonderen Verwendungszweck andererseits. Beide Fragen sind gelöst worden. Nachdem die notwendigen Erfahrungen mit dem Doppelaerometer von S. SMITH gesammelt worden waren, wird eine eigene Maske für den speziellen Zweck der Untersuchung der velaren Okklusion bei Verschlußlauten entwickelt.
Die Registrierung der phonatorischen Luftwege auf elektrischem Weg erlaubt eine sehr genaue Auswertung und somit Rückschlüsse auf die Okklusion ohne allzu große Fehlerquellen, wie sie etwa die Dichtigkeitsschreibung oder die gekoppelte phonetisch-röntgenologische Untersuchung mit sich bringen.

Ein direktes Verfahren wird in diesem besonderen Fall der Untersuchung des velopharyngealen Verschlusses gegenüber einer komplizierten indirekten Methode den Vorzug haben. Es gilt, die Fehler möglichst gering zu halten. Dabei ist wesentlich, daß bei einem direkten Untersuchungsverfahren im Moment der Lautgebung das Ergebnis eingesehen werden kann, um eventuelle Unstimmigkeiten sofort durch einen zweiten Versuch zu beseitigen.
Von der Norm abweichende Ergebnisse können auf diese Weise ebenfalls sofort nachkontrolliert werden. Diese Kontrollmöglichkeit erleichtert eine spätere Auswertung der Ergebnisse sehr.

Der Grundgedanke dieser experimentellen Untersuchung ist der, den Luftaustritt aus der Nase synchron mit einer Tonschreibung zu registrieren. Dadurch können die nasalen Sprachanteile eines Lautes festgestellt werden. Diese wiederum erlauben, Rückschlüsse auf die Verschlußtendenz des weichen Gaumens während der Phonation zu ziehen.
Ein geeignetes Gerät hierfür ist das Doppelaerometer von S. SMITH. In der Sprachabteilung der Hals-, Nasen-, Ohrenklinik der Universität München steht ein solches für Untersuchungszwecke zu Verfügung.

Bei den ersten Probeableitungen mit der Maske stellt sich bei einer der Photodioden eine abgeschwächte Leistung gegenüber den anderen heraus.

Die Elektroden werden ausgebaut, durchgemessen, und die defekte Diode durch eine neue ersetzt. Diese wird aus einer Anzahl von Elementen ausgesucht, um übereinstimmende Kennlinien zu erhalten. Erst die Übereinstimmung aller vier Elektroden in ihrem Verstärkungswert ermöglicht eine gleiche Ausgangsleistung der vier Kanäle bei jeweils gleichem Impuls. Nachdem die elektrischen Elemente gegeneinander abgestimmt worden sind, werden die Ventile der Maske derart beschnitten, daß ein konstanter Luftstrom bei allen vier Gummiklappen den gleichen Öffnungsspalt - und somit einen konstanten Lichteinfall auf das Photoelement - hervorruft.
Zur Erzeugung eines in seiner Größe bekannten Luftstromes dient ein Meßzylinder, der oben mit einem luftdichten Deckel und einem Zuleitungsschlauch versehen ist. Am Boden des Zylinders sorgt ein Hahn für die Möglichkeit, die in dem Gefäß befindliche Flüssigkeit verschieden schnell auslaufen zu lassen. Verbindet man nun den Zuleitungsschlauch luftdicht mit einem Einlaßventil der Maske, so erzeugt das abfließende Wasser einen Sog (a). Die Größe dieses Luftstromes ist gleich der Menge des abfließenden Wassers. Diese wird errechnet aus der in einer Zeiteinheit (sec) auslaufenden Menge (cm^3) Flüssigkeit.
Der Fehler, der durch die geringfügig schwächer werdende Ausflußgeschwindigkeit auftritt, hat keinen Einfluß auf die Eichung des Systems.



Um für die Eichung des Ausgangventiles einen gleichmäßigen Luftstrom zu erhalten, wird der erste Meßzylinder mit einem tiefer liegenden zweiten Gefäß verbunden. Läuft das Wasser aus dem ersten in den zweiten Zylinder,

so erzeugt die verdrängte Luft in dem Ableitungsschlauch einen Luftstrom bekannter Größe (b).
Auf diese Weise können Einlaß- und Auslaßventile der Maske geeicht werden, je nachdem, ob man den Zuleitungsschlauch bei a oder b ansetzt.
Das erforderliche Anschlußstück zur Maske ist aus Palavit M mit einer Moosgummiabdichtung gefertigt.

Die untere Grenze der Empfindlichkeit der Ventile liegt bei ca. 18 ml/sec. Mit zunehmendem Luftstrom steigen die Meßwerte linear an. Zur Festlegung der oberen Meßgrenze wird ein Kompromiß geschlossen. Da es die wesentlichste Aufgabe der Versuchsanordnung ist, eventuelle Durchschläge bei Verschlußlauten zu registrieren, ist die Empfindlichkeit des Verstärkersystems sehr hoch eingestellt worden. Auf diese Weise werden qualitativ sehr feine Durchschläge registriert, eine quantitative Auswertung jedoch ist wegen der kurzen Meßstrecke nicht möglich.

Die anfängliche Absicht, Durchschläge auch volumenmäßig zu erfassen, ist geändert worden. Als keine Durchschläge gefunden wurden, ist eine gröbere Einstellung der Verstärker mit einem zwangsläufig größeren Meßbereich zu Gunsten einer für feine Durchschläge empfindlichen Einstellung aufgegeben worden.

Durch Drehen der Ventilverschraubungen an der Maske werden diese in die senkrechte Lage gebracht und mit einem Tropfen Kaltplast oder Unterlagscheiben aus Wachspapier in dieser Lage gehalten. Dadurch wird erreicht, daß die Ventile hängend angeordnet sind. Die beiden Ventillappen können sich nun von der Schwerkraft unbeeinflußt öffnen und schließen.

Wohl die größte Schwierigkeit stellt die Abdichtung, sowohl des Mund- von dem des Nasenraumes, als auch beider Räume der Maske nach außen, dar. Nach vielen Versuchen mit den verschiedensten Materialien (Wachs, Guttapercha, Schaumgummi) gibt ein Wulst aus Moosgummi als Trennwand in der Maske die besten Resultate. Moosgummi ist weich wie Schaumgummi, jedoch luftundurchlässig.

Um die Abdichtung der Maske nach außen zu sichern, ist die Nasen- und die Kinnpartie mit dünnem Gummi, wie er bei chirurgischen Eingriffen Verwendung findet, überklebt worden. Der dünne Gummi schmiegt sich widerstandslos den Unregelmäßigkeiten der Nase und des Kinns an und dichtet so die Maske nach außen ab.
Weiter ist das Doppelaerometer mit einem Lochgummiband versehen worden. Dieses erlaubt ein exaktes Anlegen der Maske, ohne von der Mitarbeit der Versuchsperson abhängig zu sein. Um die Maske keimfrei zu halten,

wird sie nach jeder Untersuchung mit Alkohol gereinigt und 10 Minuten lang mit UV-Licht bestrahlt. Durch den Alkohol und das UV-Licht verliert der Moosgummi jedoch bald seine weiche, anschmiegende Eigenschaft, so daß er häufig erneuert werden muß.

Untersucht werden 42 Personen, davon 12 mit dem Doppelaerometer, die übrigen 30 mit der später von mir angefertigten Maske. Die jüngste Person zählt 7 Jahre, die älteste 74 Jahre. Der größte Personenkreis ist zwischen 20 und 27 Jahre alt und setzt sich hauptsächlich aus Studenten und Studentinnen zusammen. Das durchschnittliche Alter der untersuchten Personen beträgt 26 Jahre.
Die mit dem Doppelaerometer untersuchten Personen sind nach ihrer Konstitution ausgewählt worden, da bei athletischen und pyknischen Personen die Maske hervorragend abdichtet. Bei Pyknikern wirkt sich allerdings ein Fettansatz im Halsbereich nachteilig auf die Glottographie aus.
Bei den mit meiner Maske untersuchten Personen ist die Konstitution ohne Bedeutung, da die abzudichtende Fläche gegenüber dem Doppelaerometer nur gering ist.
Bei Kindern lediglich werden die undichten Stellen der Maske mit weichem Wachs, schwarzer Guttapercha, oder Plastelin unterlegt und so auf die besonderen anatomischen Verhältnisse Rücksicht genommen.

Um eine Vergleichsmöglichkeit zwischen pathologischen und physiologischen Durchschlägen bei gleichen Lauten zu erhalten, wird eine Person mit einer partiellen Alveolarkammresektion und eine zweite mit einer rhinolalia aperta untersucht. Bei dem Resektionspatienten werden außerdem noch funktionelle und phonetische Ergebnisse mit und ohne Obturator gegenübergestellt.

II. VERSUCHSANORDNUNG. GLOTTOGRAPHIE UND DIREKTSCHREIBER

Die Versuchspersonen werden aufrecht sitzend, den Kopf in einer Kopfstütze fixiert, auf Veränderungen im Rachenbereich untersucht. Ableitungen werden nur bei gesunden Personen gemacht.
Zur Aufzeichnung der phonatorischen Sprachanteile findet die Glottographie Verwendung. Der Glottograph ist von FABRE 1958 entwickelt und von E. LOEBELL und BALK modifiziert worden.
Die Änderung des kapazitiven Widerstandes von zwei Elektroden in Kehlkopfhöhe bildet ein elektrisches Äquivalent für die Stimmlippenschwingungen. Durch Herausfiltern der Frequenzen bis 80 Hz aus dem Gesamtfrequenzspektrum werden die langsamen Öffnungs- und Schließungsbewegungen der Glottis für eine isolierte Registrierung möglich gemacht.
Von einem Gegentakt - Hartley - Oszillator wird ein hochfrequenter Wechselstrom auf zwei dem Kehlkopf beidseitig anliegende Elektroden von je 2,5 cm Durchmesser zugeführt. Die Elektroden werden vor dem Anlegen zur besseren Kontaktfähigkeit mit einer Kontaktpaste dünn bestrichen. Die schwankende Impedanz (Quotient des Schalldrucks in einer Fläche der Wellenfront) des Kehlkopfes bewirkt an dem Vorwiderstand eine Modulation der HF-Spannung an den Elektroden. Die modulierte HF-Spannung wird einem abgestimmten HF-Verstärker zugeführt und anschließend gleichgerichtet. Nach der Gleichrichtung erfolgt durch eine Frequenzweiche eine Trennung in tonfrequente und niederfrequente Modulationsteile, die als "phonatorische" und "respiratorische" Glottographiekurven getrennt registriert werden.

Als Registriergerät dient sowohl für die Glottographie als auch für die Maske ein Elektro-Encephalograph (Type E 521) von der Firma Schwarzer mit 12, über Spezialverstärker betriebenen, Schreibvorrichtungen. Dieses Universalregistriergerät ist nach dem Baukastenprinzip aufgebaut, wobei jedem Verstärkereingang zwei Ableitungswahlschalter zugeordnet sind. Mit diesen können jedem Verstärker über einen Aufnahmekopf zwei beliebige Aufnahmebuchsen zugeteilt werden, die die Impulse von außen - in diesem Fall die der Glottographie und die der Maske - aufnehmen.

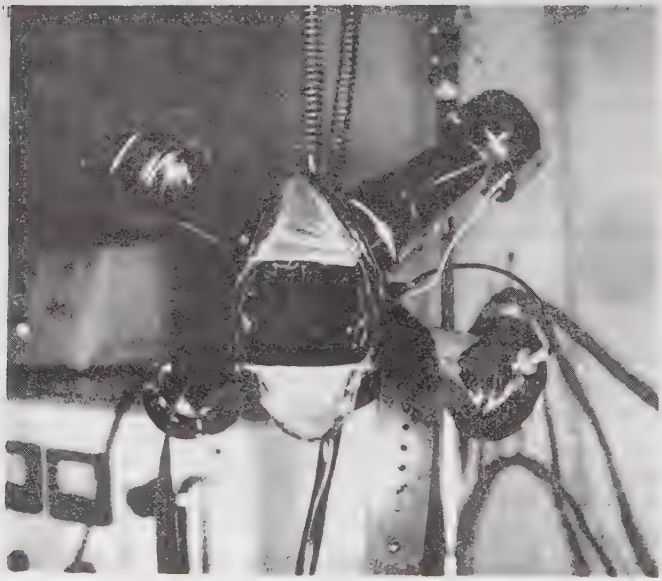
Ein Wahlschalter, der verschiedene Eichspannungen liefern kann, wird über eine Eichtaste ausgelöst.
Zu jedem Verstärker gehören außerdem eine Empfindlichkeitseinstellung in 8 Grobstufen, jeweils im Verhältnis 1 : 2 steigend, und eine Feinempfindlichkeitsregelung. Beide Werte sind bei der Maske nach der Ein-

stellung während der Versuche nicht mehr verändert worden, um eine gleiche Verstärkung der Impulse bei allen Versuchspersonen zu garantieren.
Anders verhält es sich bei der Glottographie. Hier werden die Verstärkungen den jeweiligen Versuchspersonen angeglichen. Fettreiches Gewebe dämpft gegenüber dem fettarmen, bindegewebsreichen Gewebe etwas mehr. Dadurch wird eine höhere Verstärkung notwendig, um sichtbare phonatorische Werte zu erhalten.
Zur besseren Klanganalyse und zum Vergleich wird häufig noch ein Kehlkopfmikrophon verwendet, wenn mit der Glottographie in besonderen Fällen keine befriedigenden phonatorischen Werte erzielt werden können.
Zwei weitere Einstellungsmöglichkeiten beschneiden die untere und die obere noch übertragene Frequenz. Bei langsamen Vorgängen, etwa der respiratorischen Glottographie, wird die Stellung "1 sec" verwendet, was einer unteren Grenze von 0,1 Hertz entspricht.
Als obere Grenze wird das Filter "200" verwendet, da die Maske auf Grund ihrer Konstruktion hohe Frequenzen nur als gleichgerichteten Impuls wiedergibt. Die Verwendung des Filters "2000", bei der keine Frequenzbeschneidung erfolgt, ist aus diesem Grunde nicht vorteilhafter, zumal die störenden Einflüsse von außen bedeutend größer werden. Die Schreibgeschwindigkeit wird durch Auswechseln eines Zahnrades im Getriebechassis bei 50 mm pro Sekunde gehalten, nachdem vorangehende Untersuchungen mit geringeren Geschwindigkeiten keine exakte Aufgliederung der Texte ergeben haben.

Das eigentliche Registrierverfahren ist ein Trockendirektschreiber auf unpräpariertem Papier mittels sehr viel langsamer laufendem Kohlepapier.
Die Schreibhebel, leichte, aber massive Stahlfedern, haben nur einen Schreibdruck von etwa 10 g, so daß linear eine Schreibfrequenz von 230 Hertz erreicht wird.

III. DAS DOPPELAEROMETER NACH S. SMITH

Das Doppelaerometer ist eine oro- nasale Maske, bei der die aero-dynamische Trennung von Mund und Nase durch zwei abgedichtete Kammern erreicht wird. Zu jeder Kammer gehören zwei Ventile - ein Auslaß- und ein Einlaßventil - . Mit Hilfe einer Photoelektrode am Ventileingang und einer Glühbirne am Ventilausgang wird eine elektrische Registrierung von Luftströmen ermöglicht. Diese werden getrennt für Nase und Mund aufgezeichnet.



Die Idee der Abdichtung von Nase und Mund mit Hilfe eines Gummiblattes stammt von M. UDDSTRÖMER, der 1940 eine Reihe von Experimenten zur Anpassung einer oro-nasalen Maske an Gesichter durchgeführt hat. Das trennende Gummiblatt ist derart massiv, daß Erschütterungserregungen und Resonanzmomente die Kammern gegenseitig nicht beeinflussen können.

Da es unmöglich ist, diesen Maskentyp "in einem Stück Metall und mit einem ihm verbundenen Gummiring passend für alle Individuen zu schaffen" (SMITH), erlaubt die Konstruktion des Doppelaerometers ein Auswechseln der Metallbasis. Das Auswechseln erfordert aber ein Zerlegen der Maske in ihre Einzelteile und das Vorhandensein verschiedener Metallformen und Gummikrümmungen.
Die Ventile sind aus jeweils zwei miteinander in der Längsrichtung verklebten Gummiblättern gefertigt, die an einem Ende halbrund, den jeweiligen Erfordernissen entsprechend, zugeschnitten werden. Die Klappe wird mit einem Ende auf eine Messingröhre aufgeschoben und in der Längsrichtung mit einer Messingstrebe verklebt. Dadurch wird eine exakte hängende Lagerung der Klappe innerhalb der Maske erreicht.

Die Klappe befindet sich mit ihrer runden Einlaßöffnung 13 mm vor einer Photozelle und mit der ovalen Auslaßöffnung direkt vor einer Glühbirne. Hierbei ist es besonders wichtig, daß der Glühfaden der Lampe an dem Punkt der Klappe mit der größten Schwankungsbreite angebracht ist. Wird ein Luftstrom verschiedenen Ausmaßes (von 30 - 1000 cm^3 pro Sekunde) durch die Klappen geschickt, so ist der Druckabfall für diese linear (von 1 - 20 mm H_2O) (SMITH). Die eliptische Einlaßfläche der Klappe ist so klein wie möglich gehalten. Beim Erwachsenen hat die Fläche der Glottis etwa das gleiche Ausmaß.
Die Ventile der Maske sind für Störungen von außen (Luftstrom im Raum oder mechanische Erschütterungen) nicht empfänglich. Die Klappe selbst vibriert bei der Phonation mit dem ersten harmonischen Ton im Sprachsignal. Bei Frequenzen über 400 Hz entspricht der Ausgang der Klappe jedoch unter keinen Umständen dem akustischen Wechselstromsignal, sondern nur seiner Gleichstromkomponente.

Während das eine Ventil arbeitet, ist das andere stets in Ruhe und zeigt eine beständige Nullinie in der elektronischen Aufzeichnung, die mechanisch und elektrisch stabil ist. Auf diese Weise wird bei wechselnder Ein- und Ausatmung ein exaktes Abdichten der Maske und ihre richtige Funktion überprüft.

Die Reaktionszeit der beiden Klappen (Übergang vom Verschluß der einen zum Öffnen der anderen) beträgt weniger als 1/100 sec. Für eine rechteckige Wellenfront (Explosion der Laute t oder d) beträgt die Zerfallzeit etwa 1/50 sec. Es findet sich eine Resonanz von 80 - 100 Hz in dem System, jedoch sehr stark gedämpft. Die Resonanzfrequenz verzerrt das Sprechen nicht ernstlich (SMITH).
Die von der Lampe ausgehenden Lichtstrahlen treffen bei Öffnung der Klappe

auf eine Photodiode vom Typ TP 60.
Der Innenwiderstand der Diode liegt bei etwa 800 Ohm. Er schwankt bei den einzelnen Dioden beträchtlich. Diese Schwankungen stellen die größte Schwierigkeit bei der Maske dar. Daher finden nur ausgesuchte Elektroden mit annähernd vollständiger Linearität Verwendung.
Der Verstärker der Maske ist nach dem Prinzip des Zerhackerverstärkers für Gleichstrom gebaut, d.h. die eingeführte Spannung, die von der Photodiode stammt, reguliert die Rechteckfrequenz, die von einem in dem Verstärker eingebauten Multivibrator erzeugt wird.
Die Zerhackerfrequenz beträgt etwa 11000 Hz. Die modulierte Rechteckspannung wird verstärkt und dann mittels zweier Dioden und einem glättenden Filter (11 kHz) wieder gleichgerichtet. Am Verstärkerausgang wird nun eine Gleichstromleistung erhalten, die der schwachen Gleichstromzufuhr von den Photodioden proportional ist. Das Verstärkungsverhältnis beträgt 20 db und wird verändert durch die Spannung der Lampen in der Maske.

Als Haltevorrichtung der Maske dient ein rechtwinkliger Stahlarm, der mit Hilfe eines Zahnradgetriebes in vertikaler Richtung verstellbar ist. Am horizontalen Teil des Armes ist, ebenfalls verstellbar, die Maske aufgehängt und mit einer doppelten Spiralfeder ausbalanciert.

IV. DIE EIGENE MASKE

Um den Schwierigkeiten der Abdichtung des Doppelaerometers zu entgehen, ist die eigene Maske in Unabhängigkeit der verschiedenartigen Gesichtsformen hergestellt worden.

Von einem Durchschnittsgesicht wird ein Gipsabdruck der oro-nasalen Region gemacht. Auf diesem anatomischen Abdruck werden die Grenzen der Maske nach den Erfahrungen mit dem Doppelaerometer sorgfältig gezogen und der Maskenkörper aus selbsthärtendem Kunststoff gegossen. Dabei liegt das Bestreben im Vordergrund, die Maske so wenig als möglich zu extendieren, um die abzudichtende Fläche gering zu halten. Der abdichtende Rand der Maske wird mit einer schmalen, 5 mm dicken Moosgummileiste beklebt, um vor allem in der Gegend des dorsum nasi an der Maske eine Nachgiebigkeit zu erreichen.
Während der Untersuchung wird die Maske von der Versuchsperson mit einer Hand so an die Nase angedrückt, daß die Bewegungen der Oberlippe und der Nasenflügel nicht behindert werden.
Die nachfolgende Abbildung zeigt die Maske.

In der Mechanik entspricht die eigene Maske der des Doppelaerometers von S. SMITH. Einen oralen Teil besitzt diese Maske nicht, da er für meine Untersuchungen nicht erforderlich ist und nur die Abdichtung erschweren würde.

Die Gummiklappen werden von dem Doppelaerometer übernommen. Es ist besonders wichtig, sie sehr sorgfältig zuzuschneiden. Die Ventilränder sollen sich in einer ovalen Fläche nur eben berühren und nicht breit aufeinanderliegen. Durch die zarte Berührung wird erreicht, daß das Ventil in Ruhe das Licht zur Photodiode einerseits abhält, andererseits aber schon bei der geringsten Luftdruckschwankung den punktförmigen Kontakt an der Stelle des geringsten Widerstandes (Ovalmitte gegenüber der Diode) öffnet, um den Weg der Lichtstrahlen zur Diode freizugeben.

Die zwei Dioden für das Auslaß- und Einlaßsystem sind aus sieben Elementen vom Typ TP 60 ausgesucht worden und zeigen annähernd die gleichen Kennlinien. Zur Festlegung der Kennlinien ist es erforderlich, die Elemente verschiedenen Lichtwerten auszusetzen, um ihren Verstärkungswert vergleichen zu können. Die Dioden sind 5 mm vor dem Ventileingang so angeordnet, daß ein Lichtstrahl in jedem Fall auf die Schichtseite auftreffen muß.
Als Lichtquelle dient für jeden Kanal eine 18 V Glühbirne, die jedoch nur mit ungefähr halber Spannung betrieben wird. Dadurch wird ein Nachdunkeln der Birne vermieden und ihre Lebensdauer bedeutend erhöht. Die Betriebsspannung wird an dem Zwischenverstärker, der vom Doppelaerometer übernommen wird, bei jeder Birne getrennt eingestellt, um gleiche Verstärkungswerte für beide Systeme zu erhalten.
Das Auslaßventil des Aerometers liegt horizontal. Dadurch wird erreicht, daß die Gummiklappe exakt senkrecht hängt, wodurch eine von der Schwerkraft unabhängige Funktion der beiden Ventilblätter gewährleistet ist.

Das schräg über dem Nasenausgangsventil liegende Naseneingangsventil dient lediglich dazu, die Atmung nicht zu behindern und die Gewöhnung an die Maske zu erleichtern bzw. die Nervosität infolge gehemmter Nasenatmung auszuschalten.
Die Maske kann daher auf Grund ihrer einfachen Handhabung für klinische Untersuchungen, etwa zum Vergleich von sprachtherapeutischen Ergebnissen nach Spaltoperationen, verwendet werden.

V. VERSUCHSPROGRAMM

Untersucht werden die Konsonantlaute p, t, h, g, k, m bei 40, die Konsonantlaute d und d bei 13 Personen. Nicht mitgerechnet sind zwei Versuchspersonen mit pathologischen Erscheinungen, die zum Vergleich herangezogen werden.

Nach der Entstehungsart und dem Entstehungsort lassen sich die Konsonanten in einer Tabelle übersichtlich zusammenstellen.
(Tabelle: abgeändert nach J. BERENDES)

Artikulationsstelle	I Lippen - obere Zahnreihe		II Zungenspitze obere Zahnr.		III Zungenrücken - Gaumen	
Entstehungsort	mit Stimme	ohne Stimme	mit Stimme	ohne Stimme	mit Stimme	ohne Stimme
Verschlußlaute	b	p	d	t	g	k
Nasallaute	m		n		ng	

Die folgende, den Versuchspersonen vorgelegte Silbenreihe ist dem Lautschema von WEITHASE entnommen worden.

Programm:

Vokale und Tenues	pip	pep	pap	pop	pup
Vokale, Tenues und Mediae	pikt	pekt	pakt	pokt	pukt
Vokale, Oralkonsonanten	tit	tet	tat	tot	tut
Vokale, Tenues und Mediae	tipt	tept	tapt	topt	tupt
Vokale, alle Oralkons.	hiks	heks	haks	hoks	huks
Vokale, Spiranten	hich	hech	hach	hoch	huch
Vokale, Nasale, Oralkons.	ging	geng	gang	gong	
Vokale und Mediae	gi	ge	ga	go	gu

Vokale und Tenues	kik	kek	kak	kok	kuk
Vokale, Nasale, Oralkons.	kimm	kämmen	kamm	komm	
Vokale, Tenues, Mediae	kikt	kekt	kakt	kokt	kukt
Vokale und Nasale	mime	memme	mamma		
Vokale und Mediae	bi	be	ba	bo	bu
Vokale, Tenues, Mediae	bipt	bept	bapt	bopt	bupt
Vokale und Mediae	di	de	da	do	du
Vokale, Tenues, Mediae	dipt	dept	dapt	dopt	dupt

Das Programm wird von den Versuchspersonen flüssig in möglichst gleichbleibender Lautstärke und Tönhöhe abgelesen.
Zur Überprüfung des velopharyngealen Abschlusses bei Verschlußlauten innerhalb eines geschlossen gesprochenen Satzes dient die Wortreihe:
"Papa packt die Kippe in den Pappkarton".
Die Häufung von Silben mit Vokalen und Tenues - pap - bei Papa, - pack - bei packt, - kip - bei Kippe und - pap - bei Pappkarton in Verbindung mit den als Norm dienenden Nasalen bei - in - , - den - , und - ton - sollen eine Parallele zu der Silbenreihe des Versuchsprogramms bilden, um den Verschluß bei einer Silbenreihe mit und ohne gedanklicher Verbindung überprüfen zu können. Der Satz wird vor Beginn der Ableitung so oft gesprochen, bis er fehlerfrei und ohne Stocken gesagt werden kann.

Es ist nicht möglich, bei Betonung jede Silbe dieses Satzes etwa so flüssig zu sprechen wie den Satz "der Kakadu knappert Schokolade", obwohl bei dem zweiten Satz ebenfalls eine Häufung von Verschlußlauten vorkommt. Die Möglichkeit, eine Silbenreihe weniger flüssig zu sprechen, vermeidet wegen der erhöhten Konzentration eine unerwünschte Nasalität, die infolge nachlässiger Artikulation auftreten kann (NADOLECZNY).

Ein bekannter Satz stellt eine gedankliche Einheit dar und kann im Sinne eines reproduktiven Sprechvorganges betrachtet werden. Es soll erreicht werden, daß die Versuchsperson frei von jeglicher Anspannung oder innerer Unruhe, wie es beim konzentrierten Ablesen häufig der Fall ist, eine Anzahl von Verschlußlauten in die Maske spricht. Der Ruhetonus (FRITZELL) der Gaumensegelmuskulatur wird dadurch geringer gehalten und der Sprechvorgang verläuft natürlicher.

Insgesamt ist die folgende Silbenzahl, verteilt auf die einzelnen Konsonanten, von den 40 Personen in die Maske gesprochen worden.

Konsonanten	p	t	h	g	k	m	b	d
Silbenzahl bei 40 V. P.	400	400	400	360	560	120	130	130

Greift man aus dieser Lautanordnung die einzelnen Konsonanten heraus und stellt die Häufigkeit ihres Auftretens zusammen, so ergeben sich folgende Werte (mm und ng nicht gerechnet):

Konsonanten	p	t	h	g	k	m	b	d
Häufigkeit des Auftretens	1200	1600	400	378	1200	400	130	130

Innerhalb des Satzes treten 13 Verschlußlaute auf (pp = p). Bei 13 Versuchspersonen ergeben das 169 im Zusammenhang gesprochene Verschlußlaute. Die Gesamtzahl der in dem Programm vorkommenden Verschlußlaute beträgt demnach 4807.

VI. ERGEBNISSE

Bei 39 Personen kann während der Phonation von Verschlußlauten kein nasaler Durchschlag festgestellt werden. Die nasale Ausatmungskurve befindet sich während dieser Laute auf der Nullinie, es entweicht also keine Luft aus der Nase. Diese Tatsache kann nur auf einen eindeutigen velopharyngealen Verschluß zurückgeführt werden.
Der Verschluß ist bei allen Explosivlauten immer vollständig vorhanden. Geringe physiologische Öffnungen, die jedoch noch keine Grenzwerte störender Einflüsse darstellen, können nur bei einer von 40 Versuchspersonen festgestellt werden.
Die Art, wie bei der Phonation von Verschlußlauten Luft aus der Nase entweichen kann, wenn der Abschluß ungenügend ist, zeigt ein Vergleich mit aufgenommenen Fällen, bei denen pathologische Veränderungen im Nasenrachenbereich vorliegen (Abb. 1).

Bei der Phonation des k bei Abb. 1 (b) ist zu erkennen, daß bereits Luft durch die Nase entweicht, während sich das Ansatzrohr zum anlautenden k formiert. Die Luft entweicht solange durch die Nase, bis der Übergang von k zum a erfolgt, d.h. bis der Luftwiderstand in der Mundpassage stark absinkt. Während der Phonation von a befindet sich die Nasenausgangskurve auf der Nullinie. Sie steigt erst wieder an, wenn sich die Mundpassage durch das auslautende k wieder verengt, die Luft also den Nasenweg wieder bevorzugt.

Dagegen sieht man im Fall a) bei Abb. 1) 0,16 Sekunden vor der stimmhaften Phonation ein Ansteigen der Nasallinie, die 0,04 Sek. vor dem Stimmeinsatz zur Nullebene zurückkehrt und dort während der gesamten Phonation verbleibt.
Der Zeitraum zwischen dem Ende dieser Initialschwankung und dem Beginn des akustischen Signals schwankt bei den einzelnen Versuchspersonen zwischen 0,04 und 0,1 Sek. Vergleichsweise viel häufiger auftretende Luftstöße mit einer längeren Zeit als 0,1 Sek. vor dem Stimmeinsatz werden nicht mehr als Initialschwankung bezeichnet.

Vergleicht man die Initialschwankung zeitlich mit den pathologischen Durchschlägen, so kommt man zu der Ansicht, daß in die letzte Phase der Schwankung das Anheben des Gaumensegels fällt, der Verschluß also zwischen 0,04 und 0,1 Sek. vor dem akustischen Signal schon vorhanden ist.

Der nasale Hub kann nicht allein auf das Anheben des Segels und dem

damit verbundenen Luftaustritt zurückgeführt werden, wie Vergleiche an Hand von aufgezeichneten Schluckakten zeigen. Nur die höchste Empfindlichkeitsstufe der Versuchsanordnung läßt die folgenden nasalen Luftstromverhältnisse beim Leerschlucken bei verschiedenen Versuchspersonen erkennen (Abb. 2, S. 48).

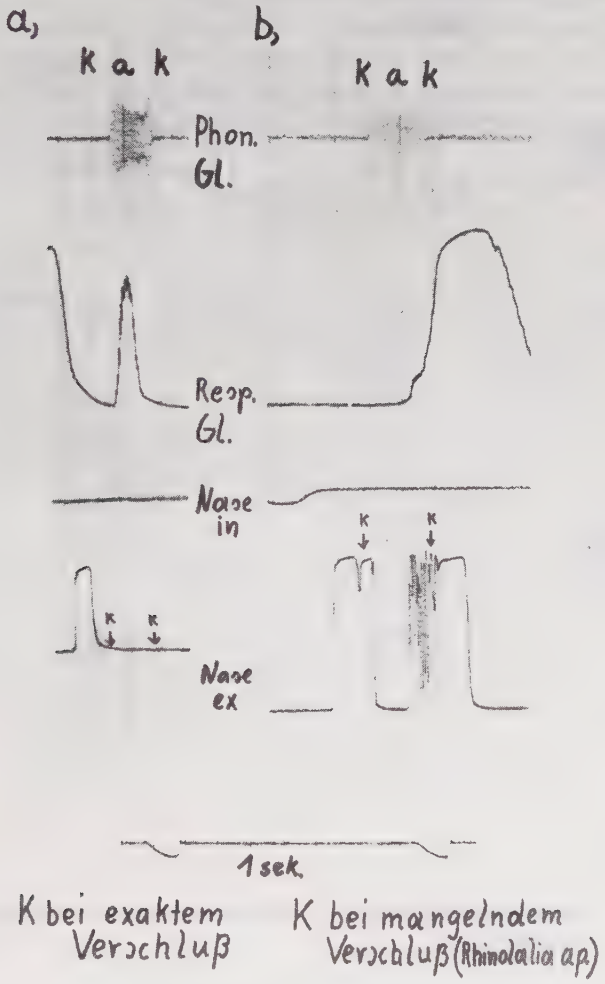


Abb. 1: k bei gutem und bei mangelndem Verschluß

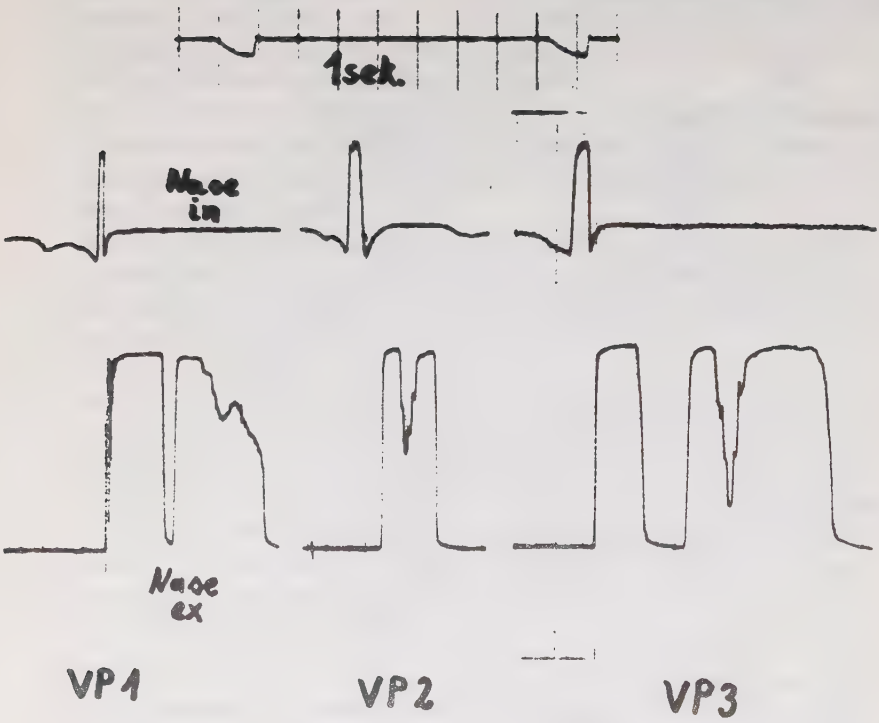


Abb. 2: Luftdruckschwankung beim Leerschlucken bei 3 Versuchspersonen (VP)

Die lediglich durch das Anheben des Gaumensegels und die Kontraktion der Rachenmuskulatur gewonnene nasale Luftaustrittsschwankung steht wegen dieser besonders veränderten Empfindlichkeit in keinem qualitativen

Verhältnis zu den vorher bei der Phonation gewonnenen Initialschwankungen. In diese fällt der velopharyngeale Verschluß, der jedoch von einem zusätzlich ausgestoßenen Luftstrom begleitet wird. Eine Gesetzmäßigkeit dieser beobachteten Schwankung kann nicht aufgestellt werden, obwohl sie bei mehr als einem Drittel der Versuchspersonen zu beobachten ist.

Der Vergleich der Verschlußlaute mit den als Norm dienenden Durchschlagswerten bei Nasallauten erbringt eindeutig den Beweis, daß immer ein Verschluß bei den Explosivlauten erreicht wird, der während der Phonation kein Entweichen der Luft aus der Nase ermöglicht. Die folgenden Kurven zeigen die Gegenüberstellung der Verschlußlaute mit ihren als Maßstab dienenden Nasallauten (Abb. 3).

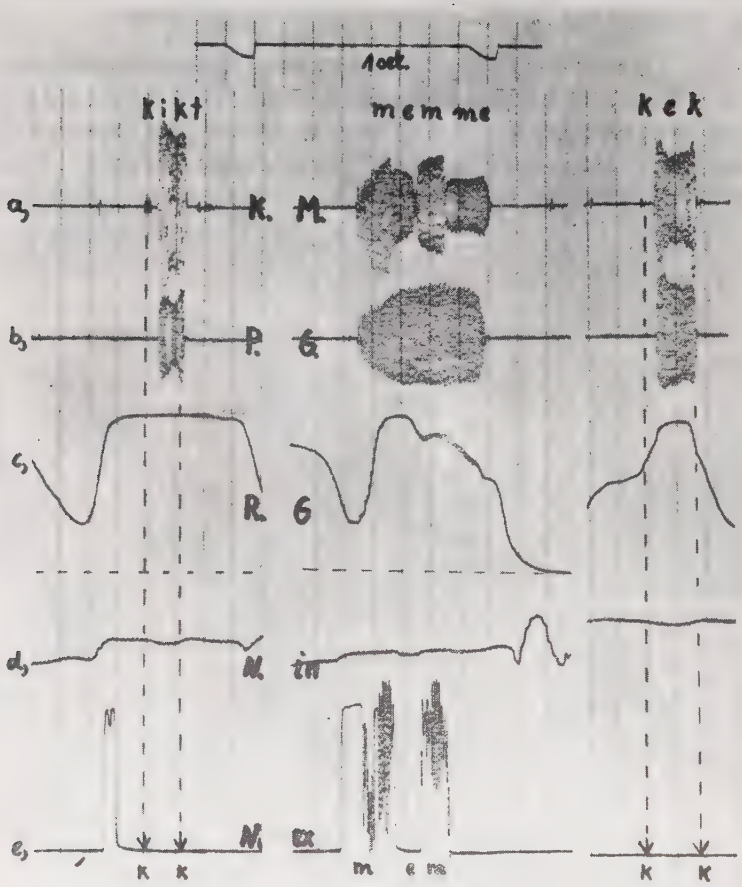


Abb. 3: Vergleich der Verschlußlaute mit Nasallauten

a) Kehlkopfmikrophon
b) Phonatorische Glottographie
c) Respiratorische Glottographie
d) Naseneingangskurve
e) Nasenausgangskurve

Bei der Silbe kikt in Abb. 3 sieht man auf der Nasenausgangskurve ein Ansteigen der Nasallinie. Diese kehrt 0,12 Sek. vor dem akustischen Stimmeinsatz zur Grundlinie zurück, wobei die volle Hubhöhe des m (bei memme) erreicht wird. Im Gegensatz zum k der Silbe kek, bei der die Nasallinie unverändert bleibt, geht also beim k der Silbe kikt ein kurzer 0,06 Sek. dauernder, kräftiger Luftstoß der eigentlichen Phonation voraus.
Dieser Luftstrom wird häufig beobachtet. Er unterliegt aber, wie schon gesagt, keiner Gesetzmäßigkeit.

Die folgende Abbildung zeigt das Verhalten der Nasallinie bei den Silben kimm, kämmen und pikt. Die Grundlinie wird während der Verschlußlaute und des Vokals e bei "kämmen" eingehalten. Sie hebt sich lediglich bei den Nasallauten m und n (Abb. 4).

Der elektrische Impuls bei den Nasallauten übersteigt den vorhandenen Meßbereich der Apparatur erheblich. Die Registrierung feiner Luftstromschwankungen, wie sie etwa bei einem physiologischen Durchschlag auftreten können, liegt in Meßbereichen, die von den ungeschwächten nasalen Luftaustritten weit überfordert werden. Aus diesem Grunde steigt auch die Nasallinie bei den Nasallauten fast senkrecht an, schwingt an der oberen Grenze des vollen Zeigeranschlages teilweise mit einer Frequenz bis zu 200 Hz, um bei einer Unterbrechung der Nasenausgangsluft sofort wieder steil abzufallen.

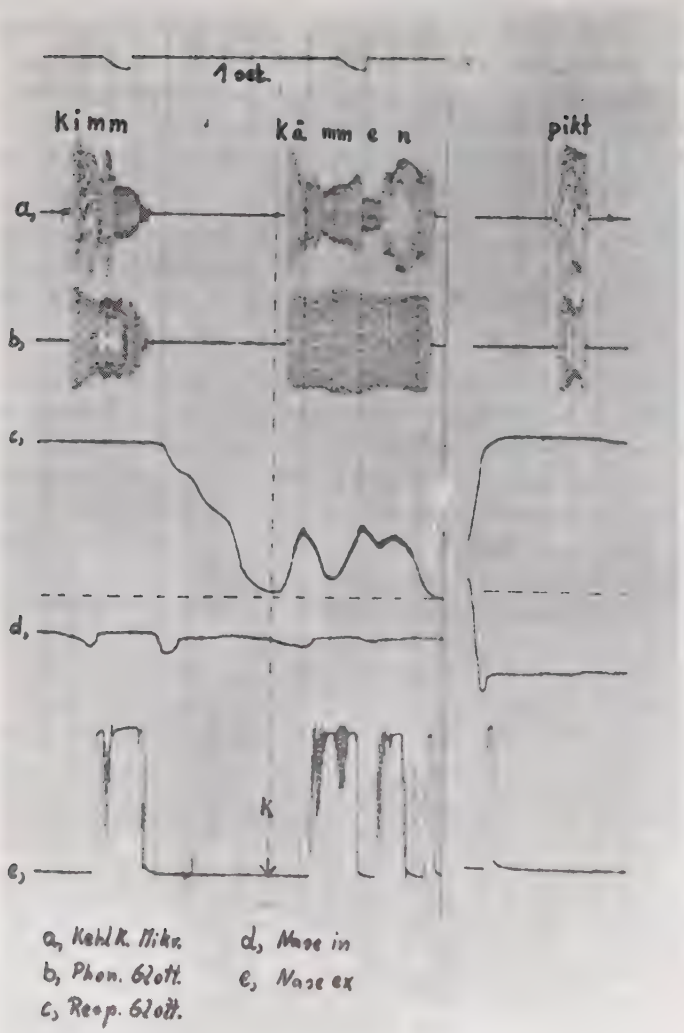


Abb. 4: Das Verhalten der Nasallinie bei k, m, n, p

Während die Ableitungen des Satzes in der Regel kein abweichendes Ergebnis gegenüber dem Silbenprogramm aufweisen, zeigt die in der folgenden Ableitung bewußt nachlässig gesprochene Wortreihe einige Besonderheiten.

Die Häufigkeit der Initialschwankung ist hierbei im Gegensatz zu den einwandfrei artikulierten Satzableitungen besonders hoch. Sie tritt 4 mal mit zeitlichen Unterschieden von 0,04 - 0,08 Sek. auf. Als Folge der nachlässigen Artikulation erscheint bei dem Wort "packt" auf der Nasallinie ein äußerst geringer Durchschlag. Bei den Verschlußlauten pp (bei Papp -) dagegen ist der feine Nasalhub weniger deutlich zu erkennen.
Bei den übrigen Verschlußlauten des Satzes wird, wie bei allen Ableitungen ein eindeutiger Gaumensegelverschluß erreicht (Abb. 5).

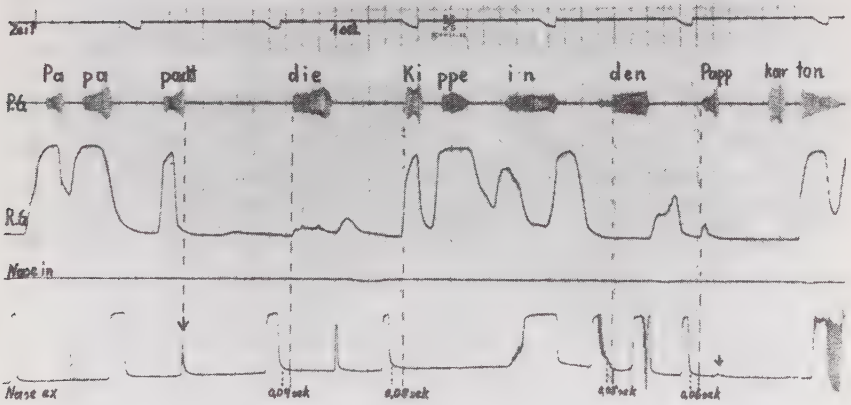


Abb. 5: Der Gaumensegelverschluß beim Satz

Bei den Silben - in - und - den - öffnet bzw. schließt der Nasenrachenverschluß nicht spontan vor dem - n- bzw. dem - d - . Die Nasallinie steigt in diesem Fall flach an (n) und fällt vor dem - d - schräg ab.

Es gibt im Deutschen Dialekte, in denen leichte Näselqualitäten zur "Dialekt-Norm" gehören. Es handelt sich hier um eine velare Hypofunktion mit mehr oder weniger starker Beteiligung von Nasalresonanz, der Norm nicht widersprechender Qualität (MEINOLD).

Unter den 40 Versuchspersonen befindet sich ein junger Mann, bei dem subjektiv keinerlei Näselqualitäten erkennbar sind. Erst die Ableitung läßt einen mangelnden Gaumensegelabschluß erkennen. Nachdem im Rachenbereich keine Veränderungen festgestellt werden, muß angenommen werden, daß hier eine velare Hypofunktion vorliegt (Abb. 6).

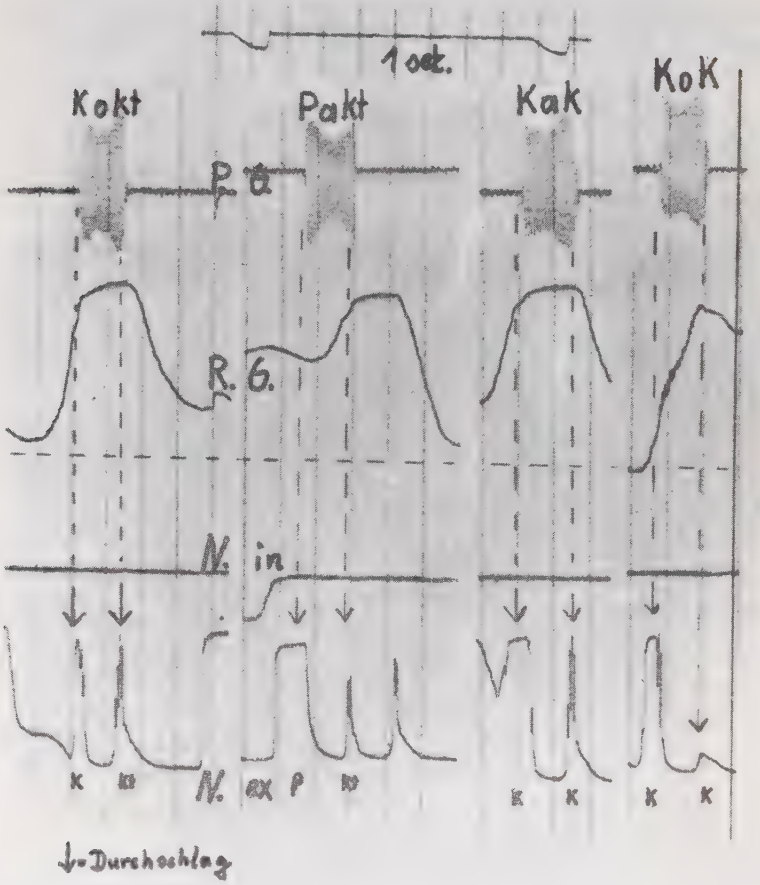


Abb. 6: Die velare Hypofunktion

Bei den Silben kokt, pakt, kak und kok ist jeweils bei den anlautenden und den auslautenden Verschlußlauten ein in der Größe schwankender Durchschlag festzustellen.
Während alle bei 39 Personen durchgeführten Ableitungen Nasallinien-Veränderungen nur bei Nasallauten, bei Initialschwankungen oder gelegentlichen Atemstößen aufweisen, ähnelt diese Ableitung in ihrem Kurvenbild der einer Rhinolalia aperta. Im Gegensatz zu diesem Krankheitsbild treten bei der velaren Hypofunktion jedoch meist nur kurze Luftdruckschwankungen während des Durchschlags auf, die in der zeitlichen Dauer und in ihrer Größe stark von denen bei pathologischen Veränderungen abweichen.

Bei der Gegenüberstellung funktioneller und phonetischer Ergebnisse bei dem Patienten mit und ohne Obturator ergeben sich überraschende Ergebnisse. Ein im Hinblick auf die Abdichtung im Kurvenbild ungenügend erscheinender Obturator ermöglicht doch eine einwandfreie Phonation ohne allzu störende Nasenresonanz. Wird der Obturator herausgenommen, erscheint die Sprache völlig unverständlich, das Kurvenbild zeigt jedoch nur geringe Abweichungen gegenüber dem ersten Versuch (Abb. 7).

Es wird häufig beobachtet, daß die nasalen Schalldruckanteile bei Explosivlauten mit dem Obturator größer sind als ohne Obturator. Ein Obturator engt die Mundpassage durch die Prothesenplatte, den künstlichen Alveolarfortsatz und die oft zwangsläufig funktionell nicht einwandfreie Zahnstellung ein, so daß auf Grund des nicht ganz einwandfreien Verschlusses der Platte der Widerstand des Mundweges gegenüber dem der Nase nur geringfügig abfällt.

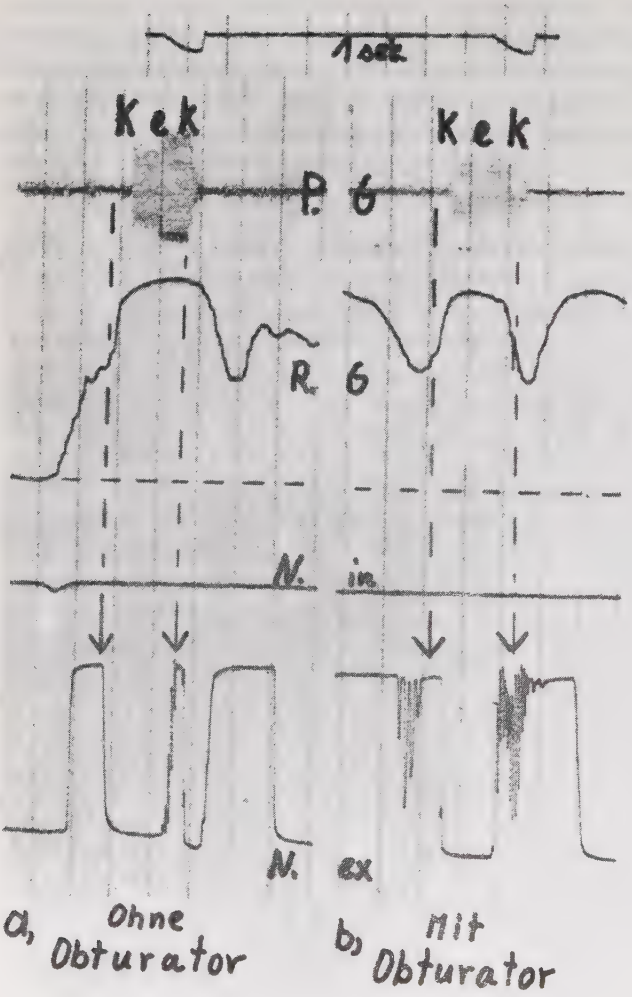


Abb. 7: Der Nasaldurchschlag bei k mit und ohne Obturator.

In der Regel ist es aber so, daß sich trotz erheblicher Sprachverbesserung die qualitativen Nasendurchschläge mit und ohne Obturator kaum unterscheiden (Abb. 8). Die beiden Flächen, die jeweils bei a) und b) von der

gestrichelten Grundlinie und der Nasallinie eingerahmt werden, - entsprechend der Nasenausgangsluft - haben etwa ein gleiches Größenverhältnis. Die Nasenausgangskurve mit dem Obturator erreicht bei den drei Silben während der Phonation die Grundlinie nicht. Sie wird lediglich bei den Vokalen geschwächt. Der ständig schwankende nasale Luftstromanteil ruft eine leicht näselnde, aber allgemein verständliche Sprache hervor.

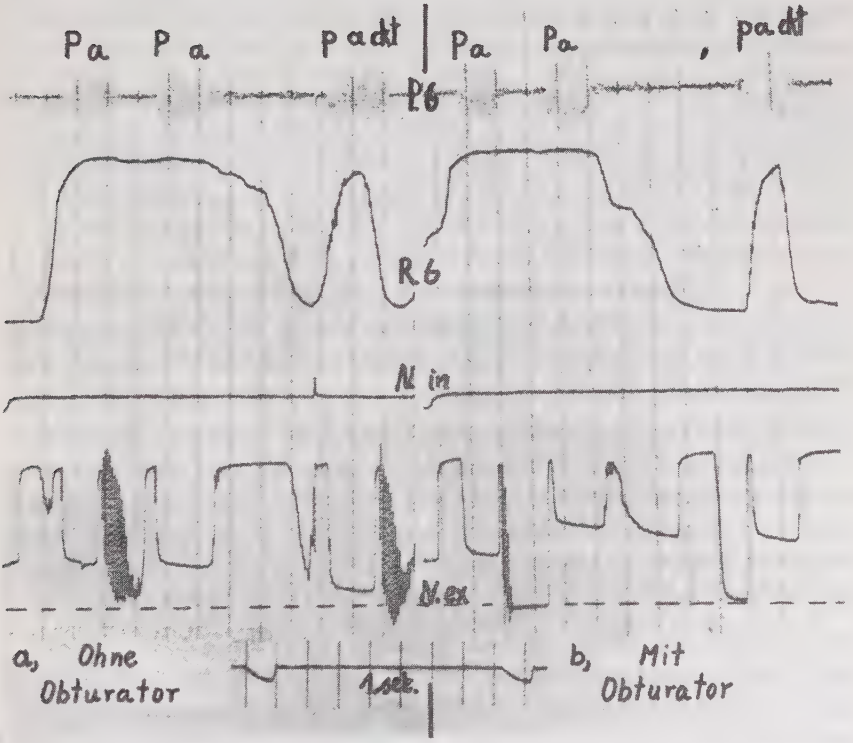


Abb. 8: Gegenüberstellung der qualitativen Nasendurchschläge

E) DISKUSSION

a) Kritik an der Versuchsanordnung

Bei einer experimentellen Arbeit ist zwangsläufig die Versuchsanordnung Gegenstand der heftigsten Kritik, da sie alle Forderungen einwandfrei erfüllen muß, die in ihrem Aufgabenbereich liegen.

Bei den experimentell-phonetischen Untersuchungen der Gaumensegelfunktion bei Verschlußlauten besteht die Aufgabe darin, synchron mit einer Tonschreibung das Verhalten der Nasalluft während der Artikulation zu analysieren. Dabei wird die Frage aufgeworfen, wie weit die verwendete Anordnung dieser Forderung entspricht.

Für die Registrierung der phonatorischen Luftwege scheint mir das auf dem photoelektrischen Wege arbeitende Klappenventil von S. SMITH am geeignetsten zu sein. Das Ventil arbeitet unabhängig von äußeren Krafteinwirkungen (Schall, Licht, Schwerkraft und Resonanz) in der exakt senkrecht hängenden Stellung auf Grund des eigenen, sehr hohen Elastizitätsmoduls der Gummiblätter. Unter physiologisch äußerst günstigen Bedingungen werden geringste Luftdruckschwankungen registriert. Dabei wird auf den Patienten weder mechanisch durch Druckschläuche, Sonden oder Oliven, noch psychisch durch das "Sprechen und Atmen gegen einen Widerstand", bei von außen eingepresster Nasalluft, eingewirkt.

Keiner, der mit einer Maske untersuchten Patienten, fühlte sich durch die Maske beim Atmen oder Sprechen behindert, da die an der Artikulation beteiligten Weichteile bei der Abdichtung der Maskenbasis nicht mit einbezogen sind. Ebenso konnte weder eine innere Unruhe, noch Aufregung, durch die einfache, schmerzlose Anwendung des Aerometers, die Untersuchungsergebnisse verfälschen.

Trotzdem ist dieses, für phonetische Untersuchungen sehr geeignete Gerät, doch mit einigen Mängeln behaftet. Zur Untersuchung des Gaumensegelverschlusses z.B. ist das Gerät auf die Atem- oder die Sprechluft angewiesen. Daher ermöglicht erst eine Erfahrung, die an Hand von pathologischen Sprechluftaufzeichnungen gewonnen wird, tiefere Rückschlüsse auf die Funktion der physiologischen Luftwege. Die Ventilöffnungen, die in ihrem Ausmaß der Glottis entsprechen, arbeiten auf Grund ihrer Größe nicht mit der äußersten Empfindlichkeit, die es bei einer Registrierung z.B. des Gaumensegelhubes ohne Phonationsluft bedarf.

Es wäre interessant, die feinsten Luftdruckschwankungen, die in der Nase

durch Gaumensegelbewegungen hervorgerufen werden, aufzeichnen zu können, um die Funktion des Segels bei der Phonation in allen Einzelheiten aufzuschlüsseln. Diesen Anforderungen kann aber ein einziges Ventil nicht Genüge leisten. Es bedarf eines kombinierten Doppelventiles, bei dem ein Teil die gröberen Luftströme innerhalb eines quantitativ auswertbaren Meßbereichs registriert und ein Teil, der schon bei den geringsten Druckschwankungen ein qualitativ meßbares Ergebnis liefert.
Damit würde die Doppelaufgabe des bisher verwendeten Ventils in die Registrierung der feinen Druckanteile und das Aufzeichnen der gröberen Strömungsanteile der Nasenausgangsluft zerfallen.

Bei der Konstruktion dieses Ventiles führen eigene Experimente dahin, daß zur Luftstromaufzeichnung ein gebündelter Lichtstreifen, der proportional zur Ventilöffnung eine rechteckige Photodiode vom Typ BPY 45 erfaßt, notwendig ist. Zur Analyse der feinen Druckanteile ist ein Ventil wegen seiner Materialeigenschaften ungeeignet. Druckanteile in dieser geringen Schwankungsbreite können nach meinen Erfahrungen nur durch Änderung eines kapazitiven Widerstandes zweier Goldfolien gemessen werden.

b) Besprechung der Ergebnisse

Das Verhältnis von 39 mit exaktem Verschluß artikulierenden Versuchspersonen gegenüber einer Person mit physiologischen Durchschlagswerten bei Explosivlauten ist für die Aussage ausreichend, daß bei gesunden Personen während der Phonation von Verschlußlauten kein nasaler Durchschlag auftritt. Dieses Ergebnis entspricht den durch andere Methoden gewonnenen Ergebnissen von CALNAN und BIEBENDT. Hier kommt es schon bei einigen Vokalen und allen Geräuschlauten (j und v ausgenommen) zu einem Verschluß, der seinerseits wieder verschiedene Festigkeitsgrade kennt, wie aus den Untersuchungen von HARTMANN, NEGUS und STERN hervorgeht.

Dagegen vertritt KRECH die Ansicht, daß bei gesunden Sprechern der deutschen Sprache ein Verschluß nur bei wenigen Konsonanten zustande kommt. Alle Vokale verzichten auf diesen Abschluß, ohne daß ein Näseln auftritt. Nasale Schalldruckanteile bei Explosivlauten sind aber immer verbunden mit einem unvollständigen Verschluß, der aber an Hand der 4807 erfaßten Laute nicht festgestellt werden konnte.

Bei dieser phonetischen Analyse kann jedoch keine Aussage über die Verschlußart gemacht werden. Es bedarf einer völlig andersweitigen Versuchsanordnung, um beispielsweise eine Gesetzmäßigkeit zwischen dem velopharyngealen Sphinkterverschluß und dem einfachen velaren Klappenverschluß

bei Explosivlauten aufzuweisen. Während die Funktion des Sphinkterverschlusses, von VOLTOLINI 1879 erstmals erwähnt und von SEEMAN 1923 wissenschaftlich begründet, beim Schluckakt allgemein anerkannt wird, erheben sich bei der Festlegung dieser Verschlußart auch auf die Phonation Zweifel (TARNEAUD, BOREL-MAISONNY). Eine schwankende Artikulationsintensität oder Kompensationsmechanismen bei velarer Insuffizienz mögen hierfür die Ursache sein.
Es liegt nahe, die häufig beobachteten Initialschwankungen als äußeres, sichtbares Zeichen eines Sphinkterverschlusses gegenüber einem velaren Klappenverschluß zu werten. Diese Behauptung entbehrt jedoch jeglicher Begründung. Ein extremer Gaumensegelhub oder der orale Druckanstieg (S. SMITH) bei Verschlußlauten bewirkt ebenfalls einen Hub der Nasallinie, der zu einer derartigen Aussage verleiten könnte.

Zur Analyse der Silben mit an- und auslautendem Verschlußlaut kann gesagt werden, daß das velum während des Sprechaktes gehoben bleibt. Es senkt sich lediglich zu einer Stellung, die gerade noch eine Verbindung zur Nase zustande kommen läßt (MÜLLER) und fällt erst mit dem Ende des gesprochenen Wortes in seine Ausgangsstellung zurück.

Dies erklärt auch die Tatsache, daß beim auslautenden k kein erneuter starker Gaumensegelhub auftritt, das velum also lediglich aus der Artikulationsbasis (NADOLECZNY) in den Verschluß übergeht. Diese Stellungsänderung des Segels ist verbunden mit einer weiteren sehr kleinen Luftdruckschwankung, die jedoch mit den Ventilen der Maske nicht registriert werden kann.
Die Ableitung an den mit einem Obturator versorgten Patienten erfüllt eine doppelte Aufgabe. Einmal sollen die nasalen Luftdruckanteile ohne Beteiligung des velopharyngealen Verschlusses für Vergleichszwecke gewonnen werden, zum anderen werden funktionelle und phonetische Gesichtspunkte für den - von der zahnärztlich-prothetischen Seite nicht unbeachteten - Obturator gegenübergestellt.
Der Wert eines Obturators liegt darin, die Nasalluft quantitativ günstig zu beeinflussen, um das Näseln zum Verschwinden zu bringen und dem Patienten nach der Adaptionsphase das "Mundraumgefühl" (UHLIG) zu verleihen, das ein sicheres Ablaufen der Sprach-, Schluck- und Kauvorgänge gewährleistet.

Qualitativ unterscheiden sich die nasalen Durchschläge bei der Phonation jedoch nur unbedeutend von denen mit dem Obturator.
Nasale Schalldruckmessungen an der Martin-Luther-Universität in Halle/Sa.

ergeben ebenfalls minimale Unterschiede mit und ohne Obturator, die in keinem Verhältnis zu der Klangverbesserung stehen, die akustisch auditiv auffällt.
Es wird deutlich gezeigt, daß der velopharyngeale Abschluß kein Gradmesser für die Stärke des Näselns ist (NYLEN). Ein unvollkommener Abschluß innerhalb der angegebenen Grenzwerte (FRÄNKEL, GUTZMANN, NADOLECZNY, SEEMAN, M.SCHMIDT) kann bei velarer Hypofunktion oder einer Spaltversorgung innerhalb der Klangnorm als normal gewertet werden.

Für die einwandfreie Artikulation fällt daher dem velaren Verschluß nicht die entscheidende Bedeutung zu wie V. VEAU und BOREL-MAISONNY bei Patienten mit operierten Gaumenspalten demonstrieren. Trotz normaler Okklusion hatten nur 41 % der Patienten eine einwandfreie Sprache. Die Geräumigkeit des Nasenrachens, Störungen der Gebißartikulation, Zahndefekte und ein bogenförmiger Anstieg des vorderen Kieferpols der gespaltenen Seite sind häufig die Ursachen dafür.

F) ZUSAMMENFASSUNG

Mit einer eigenen, nach dem Vorbild des Doppelaerometers von S. SMITH konstruierten Maske, werden die phonatorischen, nasalen Luftstromanteile bei den Verschlußlauten p, t, g, k, d und b in Verbindung mit den als Norm dienenden Nasallauten m, n und ng registriert.
Es wird festgestellt, daß bei den Verschlußlauten immer ein vollständiger Gaumensegelverschluß erreicht wird. Dieses Ergebnis erstreckt sich auf 39 Versuchspersonen während der Phonation von 4807 Explosivlauten. Dabei wird häufig ein Nasallinienhub festgestellt, der zeitlich in die velopharyngeale Verschlußreaktion fällt, aber keine Gesetzmäßigkeit erkennen läßt.

In einem Fall werden Durchschläge innerhalb der Sprachnorm auf Grund einer velaren Hypofunktion an Hand der phonatorischen Nasenausgangskurve diskutiert.
Zur Gegenüberstellung funktioneller und phonetischer Ergebnisse bei einer Obturatorenversorgung werden die Ableitungen an einem Patienten mit und ohne Obturator verglichen. Dabei zeigt sich, daß die Sprachverbesserung in keinem Verhältnis zu den nasalen Luftdruckmessungen steht, die mit und ohne Obturator gewonnen werden.

Hiermit möchte ich Herrn Priv. Doz. Dr. E. LOEBELL herzlich für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates danken.

Gleichzeitig danke ich Frl. S. Handel für die hilfsbereite Assistenz bei der Durchführung der Versuche.

G) LITERATURVERZEICHNIS

1	ANDRÄ,	Das funktionelle Ergebnis operierter Gaumenspalten in Beziehung zum postoperativen Sprechbefund. Zahnärztl. Welt 66, S. 384-387, 1965
2	ARNOLD, G.	Besonderheiten und neue Erkenntnisse der Phoniatrischen Praxis in New York. Arch. f. Ohrenheilk. 160/1956
3	AXHAUSEN, G.	Über das sprachliche Ergebnis bei 300 Gaumenplastiken. Zbl. Chir. 770, 1942
4	BARBIERIE, P. GUTTADAURO	Richerche Radiografiche sul Faringe Radiologia XI N. 10, 1955
5	BAUER, H.	Bewegungsablauf des weichen Gaumens beim Sprechen, Schlucken und Blasen. XI Int. Speech and Voice Ther. Conf. 17 - 22 VIII 1959, L. Stein 1960
6	BERENDES, J.	Einführung in die Sprachheilkunde. J.A. Barth-Verlag, Leipzig 1965
7	BICHLMAYR, A.	Die zahnärztl. orthopäd. Mitarbeit bei Mund- und Kieferoperationen. Zbl. Chir. 42, 1937
8	BOREL et MAISONNY	Les mouvements du palais pendant la Phonation. Resultats phonetiques optenues dans les fissures palat. Rev. Stomat. 39, 1937
9	BÖME, G. STRAM, F. und KALVODOVA	Elektromyographische Untersuchungen über das Verhalten der Mm. levator und tensor veli palatini bei der Atmung und bei Phonation von Vokalen. Folia phoniatr. 1, 1966
10	BJÖRK, L. NYLEN, B.	Cineradiography with synchronized sound spectrum analysis. Plast. reconstr. Surg. 27, S. 397-412, 1961

11 BURIAN, F. Chirurgie der Lippen-und Gaumenspalten. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1963

12 CALNAN, J. The mobility of the soft palate Brit.J. Plast.Surg. 14, S. 33 - 38, 1961

13 DIJKMAN, J. Der normale und der unnormale Schluckakt. Die Quintessenz 11, S. 91-96, 1966

14 DOUBEK, F. Die Prüfung der Sprechfunktion bei Gaumenspaltenoperationen. Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie I, 1955

15 FRITZELL, B. An Elektromyographie Study of the Movements of the Soft Palate in Speech. Folia phoniat. 15, S. 307-311, 1963

16 FRÖSCHELS, E. Lehrbuch der Sprachheilkunde 2. Auflage, Leipzig und Wien, 1925

17 GREEN, M. The cleft palate patient with cincompetent palatopharyngeal closure Folia phoniatr. 1, S. 172-182, 1955

18 GUTZMANN, H. Über die angeborene Insuffizienz des Gaumensegels. Ber.Klin.Wschr. 36, S. 809, 1899

19 GUTZMANN, H. H.Arch.f.Laryng. 27 H 1 Sprachheilk. Fischers Med.Buchandl., 1912

20 GUTZMANN, H. Physiologie der Stimme und Sprache Braunschweig, Vieweg und Sohn AKG Verlag, 1928

21 HARDY, J. Development of a test for velopharyngeal competence during speech Cleft Palate J. 3, S. 6 - 21, 1966

22 IMRE, V. Zur graphischen Darstellung der Sprache nach Gaumenspaltenoperationen. Arch. Ohr. -, Nas. -, Kehlk.Heilkunde 167, S. 478-481, 1955

23 IMRE, V. Zur Genese und Therapie der Gaumensegelinsuffizienz
Arch. Ohr-, Nas. - Kehlk. Heilkunde
173, S. 536-539, 1958

24 KIEHN, C.
DEZ PREZ, J.
TUCKER, A.
MALONE, M.
Experiences with muscle transplants to incomplete soft palats
Plast. reconstr. Surg. 35, S. 123-130, 1965

25 KRECH, H. Zur postoperativen Beeinflussung der Rhinolalia aperta organica durch eine kombiniert-psychologische Übungstherapie.
XI Int. Speech and Voice Ther. Conf. 1959,
L. Stein, 1960

26 KRECH, H. Über ein einfaches Verfahren zur Aufzeichnung des oralen und nasalen Schalldruckanteiles gesprochener Sprache.
Akt. Probl. Phoniat. Logop. Vol 1 pp,
S. 101-108, Karger, Basel/New York, 1960

27 LAZCKOWSKA, M. Concerning the Function of the Velum
XI Int. Speech and Voice Ther. Conf.
1959, L. Stein, 1960

28 LOEBELL, H. Nasenpfeifen, Gaumensegelschwäche und Schwerhörigkeit.
Arch. f. Sprach. - und Stimmheilk., S. 161-164,
1939

29 LUCHSINGER, R. Physiologie der Stimme. Folia Phon 5,
S. 58-127, 1953

30 LUCHSINGER, R.
ARNOLD, G.
Lehrbuch der Stimm- und Sprachheilkunde.
Wien, Springer Verl., 1959

31 MEINOLD, G. Zur Objektivierung der postoperativen Sprachfunktion bei Patienten mit Gaumenspalten.
Folia Phon. 16, S. 81-96, 1964

32 MITRINOWICZ, A. Chronaxie dans la division palatine
Folia Phon. 3, S. 243-247, 1951

33 MOLL, K. A cinafluorografic study of velopharyngeal function in normals during various activities. Cleft Palate J. 2, S. 112-122, 1965

34 MÜLLER, E. Zur Physiologie der Gaumensegelbewegung beim Schlucken und Sprechen. Arch. Ohr. -, Nas. - Kehlk. Heilkunde 167, S. 472, 1955

35 MÜLLER, E. Die Bewegungen des Gaumensegels beim Schlucken und Sprechen. Arch. Ohr-, Nas. - Kehlk. Heilkunde 169, S. 495 - 500, 1956

36 NADOLECZNY, M. Archiv für Sprach- und Stimmheilkunde und angewandte Phonetik I Metter & Co., Verl. Anst. Berlin, 1937

37 NYLEN, B. Cleft Palate and Speech Acta radiol. Stockholm, S. 203, 1961

38 NYLEN, B. Synchronized cineradiographic and spectographic studies of soft palate function and speech results in Cleft palata. The value of the velopharyngeal al flap. Trans 3 int. Congr. of Plastic Surg. S. 267-273, 1964

39 REICHENBACH, E. Experimentelle Untersuchungen über das Wesen der Nasalität und die Klangveränderung durch Obturatoren. Wschr. Zahnheilk., 46, S. 418, 1930

40 SEEMAN, M. Über die Ermüdbarkeit des weichen Gaumens bei Myasthenia. VI. Int. Sp. and Voice Ther. Conf. 1959, L. Stein, 1960

41 SMITH, S. Ein Mittel zur Bestimmung der Luftströmung durch die Nase. Acta Probl. Phoniat. Logopäd. I, S. 81-87, 1960

42 SMITH, S. The electro aerometer Speech Path. Ther. S. 28-29, 1960

43 SMITH, S. — 100 years since PASSAVANT
Folia phon. 16, S. 139-145, 1964

44 TRAUNER — Ergebnisse der Lippen- und Gaumenspaltoperationen.
Med. Wschr., Wien, S. 76, 1950

45 WARDILL, W.
WHILLIS, J. — Movements of the soft palate with special reference to the function of the tensor palati muscle.
Zentralblatt f. HNO S. 27, 1937

46 WÄNGLER, H. — Leitfaden der pädagogischen Stimmbehandlung.
2. Aufl. C. Marthold Verl. Buchh., 1966

47 WILLIAMS, Mc.
BRADLY, D. — Ratings of velopahryngeal closure during blowing and speech.
Cleft Palate 2, S. 46-55, 1965

48 WULFF, J. — Erfahrungen bei der Sprecherziehung von Gaumenspaltenpatienten.
Fortschr. d. Kiefer- und Gesichtschir. I
1955, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

LEBENSLAUF

Am 13. 10. 1939 wurde ich als Sohn des Physikers Dr. Joachim Schloemilch und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Henn, in Berlin geboren. Kurz nach dem Eintritt in die Volksschule wurde ich mit meinen Eltern 1946 nach Gorki in der Sowjetunion verschleppt. 1947 kamen wir nach Frjasino bei Moskau. Dort besuchte ich eine für deutsche Kinder eingerichtete Schule, in der in russischer Sprache unterrichtet wurde.

1952 wurden meine Eltern nach Ostberlin entlassen, und wir flüchteten in die Bundesrepublik nach München. Dort besuchte ich bis zum Jahre 1962 die Maria-Theresia-Oberrealschule mit dem Abitur als Abschluß.
Im Herbst 1962 begann ich an der Universität München das Studium der Zahnmedizin. Im Frühjahr 1965 legte ich nach dem 5. Semester das Physikum mit gut ab.
Das Staatsexamen habe ich im Herbst 1967 an der Universität München absolviert.